



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA TARJETA DE
SONIDO

Héctor Hernáez García

Ricardo San Martín Murugarren

Pamplona, 25 de Abril de 2013

INDICE

1.- ASPECTOS GENERALES DE LAS TARJETAS DE SONIDO.....	4
1.1 - Definición.....	4
1.2 - Historia.....	4
1.3 – Usos.....	12
1.4 - Estructura y función de cada componente de la tarjeta de sonido.	12
1.4.1 - Buffer.....	12
1.4.2 - DSP (Digital Signal Processor).....	13
1.4.3 - Mezclador.....	13
1.4.4 - Conectores.....	13
1.4.5 – Tipos de conexiones entre tarjeta-ordenador.....	14
1.4.6 - Sintetizador Tabla de Ondas.....	16
1.4.7 - Sintetizador FM.....	17
1.4.8 - ADC/DAC.....	17
1.4.9 – Previos.....	17
1.4.10 – Control de ganancia y PAD.....	18
1.5 - Estructura del ADC/DAC.....	18
1.5.1 – ADC.....	18
1.5.2 – DAC.....	20
2.- IMPLEMENTACIÓN.....	21
2.1 – Chip PCM2904.....	22
2.2 – Diseños y montaje.....	24
2.2.1 – Primera implementación.....	24
2.2.2 – Segunda implementación.....	27
2.2.3 – Tercera implementación.....	30
2.3 – Previos.....	35
3.-EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA.....	37
3.1 - SNR (Relación señal-ruido).....	37
3.2 - THD (Distorsión armónica total).....	38
3.3 - THD+N (Distorsión armónica relativa).....	39
3.4 – Respuesta en frecuencia (Mediante la generación de un sweep).....	39
3.5 - IMD (Distorsión de intermodulación).....	40
3.6 - Crosstalk (Diafonía).....	41
4.- COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON TARJETAS COMERCIALES.....	43
5 – DESARROLLO DE SOFTWARE.....	46
5.1 - SNR (relación señal-ruido).....	47

5.2 - THD (Distorsión armónica total).	48
5.3 - THD+N (Distorsión armónica relativa).	49
5.4 - IMD (Distorsión de intermodulación).	50
5.5 – Crosstalk (Diafonía).	51
5.6 - Respuesta en frecuencia (mediante generación de un sweep).	52
6 – VALIDACIÓN DE LA TARJETA: OSCILOSCOPIO, MEDIDA DE GRABACIÓN BINAURAL, MONOAURAL Y OBTENCIÓN DE IR (INTEGRACIÓN EN ARETO).	53
6.1 – Osciloscopio.	53
6.2 – Interfaz.	54
6.3 – Comparación entre ARETO y WINMLS	55
6.3.1 – Medida binaural.	56
6.3.2 – Parámetros monoaurales.	58
6.3.3 – Comparación de IR entre ARETO y WINMLS.	68
7 – CONCLUSIONES.	71
ANEXO I.	73
Códigos	73
SNR (relación señal-ruido).	73
THD (Distorsión armónica total).	75
THD+N (Distorsión armónica relativa).	77
IMD (Distorsión de intermodulación).	79
Crosstalk (Diafonía).	81
Respuesta en frecuencia (mediante generación de un sweep).	83
BIBLIOGRAFÍA	85

1.- ASPECTOS GENERALES DE LAS TARJETAS DE SONIDO.

1.1 - Definición.

Lo primero que se debe definir es qué se entiende por tarjeta de sonido: Una tarjeta de sonido o placa de sonido es una tarjeta de expansión para ordenadores que permite la salida de audio bajo el control de un programa informático llamado controlador (en inglés driver).

La parte más importante de una tarjeta de sonido y lo que sin duda condicionará su calidad es el conversor analógico-digital (ADC) y el digital-analógico (DAC). Dicho elemento tiene como misión transformar la señal analógica que entra en la tarjeta en digital para poder ser procesada y tratada en el ordenador, y, a su vez, devolverla transformándola de nuevo en analógica para poder ser reproducida. Así, por ejemplo, podríamos grabar un piano, editar dicha grabación en el ordenador y volver a escucharlo totalmente cambiado por los altavoces. Sin embargo, en este proceso de transformación de la señal, se pierde información y por tanto se pierde calidad de sonido en la escucha final. Es por eso por lo que algunas tarjetas de sonido incorporan entradas S/PDIF (conector digital ideado en colaboración entre Sony y Phillips, el cual consta de una clavija RCA para sonido digital, a través del cual se transfieren grandes cantidades de información binaria de modo no balanceado, es decir, a través de un vivo y un neutro), que trabajan directamente con señal digital y que por tanto evitan esa pérdida de información en la conversión analógica-digital, en cuyo caso, la transformación de la información analógica en digital se realiza en un conversor externo de mejor calidad que el de la propia tarjeta para asegurarse las menores pérdidas posibles de información.

1.2 - Historia.

Todo comenzó en el año 1987 con la aparición en el mercado de una tarjeta con nombre en latín: AdLib. Esta tarjeta disponía de síntesis FM (chip Yamaha YM3812), es decir, síntesis por modulación de frecuencias, una tecnología inventada por el MIT en los años 60.

Con esa capacidad, sólo se podía reproducir música desde secuenciadores MIDI, o reproducir la música y efectos de los juegos.

Tras la aparición de la tarjeta AdLib, vino la tarjeta Sound Blaster de la casa Creative Labs, totalmente compatible con la anterior, pero que además de la síntesis FM, incorporaba la posibilidad de grabar y reproducir audio digital (en 8 bits). Esto permitía a los programadores de juegos usar sonidos reales (voces, ruidos, etc.) como efectos especiales de sus juegos. Creative se hizo con el mercado, consiguiendo desde entonces ser el estándar. De hecho, todas las tarjetas que se precien deben ser compatibles con la Sound Blaster, ya que todos los fabricantes de juegos y otros softwares programan para este sistema. La Sound Blaster Pro ya funcionaba en estéreo.

En 1989, una empresa americana llamada Turtle Beach, sacó al mercado su Turtle Beach Multisound. Este no era un producto orientado al mercado doméstico como los anteriores, sino que su elevado, y sus avanzadas características (incorporaba un chip DSP Motorola 56000 a 20 Mbps, nada menos) la dirigían hacia un mercado de audio profesional. Entre sus mejores características destacan que no usaba la síntesis FM, sino síntesis PCM (conocido como wavetable en la actualidad) incorporando un Chip de la empresa EMU Systems nada menos, una de las mejores empresas de sintetizadores y samplers para el mercado musical profesional. Pero si el sonido MIDI era inmejorable, en cuanto al audio tampoco se quedaba corta, ya que permitía la grabación y reproducción de audio a 16 bits, con unos buenos conversores DAC y ADC, proporcionando por lo tanto un bajísimo nivel de ruido y poca distorsión armónica. De lo que no se preocuparon los ingenieros de esta empresa fue de proveer compatibilidad con los juegos que usaban síntesis FM.

La archifamosa Gravis Ultrasound (GUS) fue el primer intento de fabricar un sampler para el mercado doméstico. Así pues, se ganó un merecidísimo puesto en la demoscene y en los diversos foros telemáticos.

En las áreas de sonido de FIDONET, los usuarios de Sound Blaster que escuchaban una GUS se arrepentían de su compra. Para mejorar el sonido, la GUS disponía de una memoria RAM de 256 Kb que permitía almacenar grabaciones de instrumentos reales (sistema Wavetable). Pero esta tarjeta tenía un problema: aunque podía reproducir sonido de 16 bits, sólo podía grabarlo a 8 bits. Por ello, no era útil para la grabación de audio digital de calidad, aunque en el campo MIDI estaba entre la SB y la Multisound. Este defecto fue subsanado varios años después, con las versiones posteriores Ultrasound Max y Ultrasound Ace. , que además traían ya 1 Mb de RAM.

Con la salida de la Sound Blaster el 16 en noviembre de 1989, el mercado del audio a 16 bits se popularizó, haciéndolo asequible al mercado doméstico, pero sin ofrecer la alta calidad de la Multisound (lógico si se desea abaratar costes). Por otro lado, la SB 16 mantenía la misma síntesis FM de la SB Pro, por lo que musicalmente, su valor seguía siendo escaso. Antes de la Sound Blaster, Media Vision había fabricado la Pro Audio Spectrum (PAS), con sonido de 16 bits, aunque fue la primera la que dominó el mercado. Creative sacó una versión ASP de la Sound Blaster, que contenía un chip de proceso digital de señal (Advanced Signal Processor), que aún no se atrevían a llamar DSP (Digital Sound Processor, como la Multisound). Este ASP permitía cierta mejora al añadir efectos de Reverberación y 3D, además de aportar compresión de ficheros de audio (wav).

La fidelidad de reproducción MIDI que aportaba la GUS motivó que, con el tiempo, varias marcas se plantearan sacar al mercado tarjetas con tecnología similar. La Orchid Wave 32 entre otras, y las empresas de instrumentos musicales ya habían desarrollado tarjetas de alta calidad (especialmente la excelente Roland RAP-10 y la Ensoniq Soundscape). La tecnología wavetable de las demás tarjetas usaba sonidos (formas de onda) grabados en memoria ROM, en lugar de usar memoria RAM como la Gravis, con lo cual, no se podía modificar los sonidos a voluntad del usuario. Sin embargo, implementaban los 128 sonidos del General MIDI (GM) y el General Standard (GS), incluyendo varios bancos de sonidos de batería y percusión. Con estas tarjetas, escuchar un buen fichero MIDI es ya una delicia.

En otro nivel más avanzado, la Digidesign Sample Cell ofrece la calidad de los samplers profesionales, e incluso mejores prestaciones. La diferencia está en el precio (más de 230.000 pts., es decir, más de 1.382 euros), a diferencia del medio millón que costaba un sampler en esa época. Aunque había algunos samplers de 150.000 pts. (900 euros), la Sample Cell aporta mayor calidad: 8 salidas de sonido independientes, edición muy completa y sofisticada de las muestras de onda, 8 Mb de RAM ampliables a 32, trae 2 CD-ROM de muestras de altísima calidad, etc. En resumen, un producto totalmente profesional.

Para los que no se gastaban todo en la tarjeta de sonido, la Turtle Beach Maui ofrecía por unas 40.000 pts. (unos 240 euros) el mismo sistema, traía 2 Mb de ROM con los sonidos General MIDI y permitía llegar a 4 Mb de RAM, con casi 200 parámetros para edición de los bancos de sonidos. Se podía adquirir un puñado de CD-ROM de muestras de calidad especialmente preparadas para Maui. Tiene la salida estéreo habitual, pero no disponía de entrada para digitalizar sonido. Así pues, debía usarse en combinación con otra tarjeta de 16 bits.

Creative también quiso copar el segmento doméstico de este mercado y fabricó, entre otras, la tarjeta Sound Blaster 32 PnP, que disponía de sonido wavetable en 1 Mb de ROM, con el sintetizador de la EMU 8000 de la famosa empresa EMU Systems, que acabó comprada por Creative.

Además de la síntesis FM, efectos de reverberación y coro, polifonía de 32 voces y compatible General Midi, añade 2 zócalos para añadir RAM en SIMMs de 30 contactos (hasta 28 Mb), con la tecnología de sampling que denomina Sound Fonts. Asimismo, admite grabación y reproducción simultánea de audio a disco duro, es decir, son Full Duplex. Esto es importante para usar programas de audio multipista, ya que mientras grabas una toma nueva, puedes escuchar lo que habías grabado antes.

Después, en marzo de 1994, vino la Sound Blaster AWE (Advanced Wave Effects) 32 PnP, que añade a la SB 32 sonido 3D, y 512 Kb de RAM para Sound Fonts y, posteriormente, en noviembre de 1996, apareció la Sound Blaster AWE64. Esta fue significativamente más pequeña, aproximadamente la mitad que la AWE32. Ofrecía características similares a la AWE32, pero también mejoras significativas, incluyendo el soporte polifónico mejorado. Los slots SIMM de las AWE32/SB32 fueron remplazados por un formato propietario que podía ser comprado a Creative. Las mejoras principales fueron la compatibilidad con los antiguos modelos de Sound Blaster, y un mejorado ratio señal-ruido. La AWE64 apareció en 3 versiones: La versión económica (con 512KB de memoria RAM), la versión standard (con 1 MB de RAM), y la versión Gold (con 4 MB de memoria RAM y salida SPDIF por separado).

En 1998 llegaron las tarjetas basadas en Ensoniq PCI. Ese año, Creative adquirió Ensoniq, fabricantes de la AudioPCI, una tarjeta extremadamente popular entre los ensambladores OEM en aquella época. La AudioPCI ofrecía una solución completa, siendo una tarjeta de sonido PCI con tabla de ondas MIDI, y ofreciendo salida multicanal surround de 4 altavoces DirectSound3D, emulación A3D y soporte completo de Ms-Dos. La adquisición de Creative llenó el segmento de mercado donde Live! era demasiado cara, y les proporcionó un soporte excelente de Ms-Dos, una característica que generaba dificultades a las compañías que trabajaban con tarjetas PCI. Creative lanzó muchas tarjetas usando el chip original AudioPCI, Ensoniq ES1370 y múltiples placas usando versiones revisadas de ese chip (ES1371 y ES1373), y algunas

con chips re etiquetados con chips AudioPCI (en ellos ponía Creative). Las placas que usaban tecnología AudioPCI eran a menudo fácilmente identificables por el diseño de la placa y el tamaño de los chips, ya que las hacía muy similares. Tarjetas como esas son la Sound Blaster PCI64 (Abril de 1998), la PCI128 (Julio de 1998), la Creative Ensoniq AudioPCI, y la Sound Blaster 16 PCI.

Esas tarjetas estaban equipadas al máximo, pero sus características fueron limitadas por su capacidad MIDI. Por ejemplo, tenía calidad más bien pobre y no tenía capacidad de personalizar los sets que aparecían por defecto (2, 4, y 8 MB) incluidos en las tarjetas. Los chips no soportaban una aceleración completa por hardware de ningún tipo y operaban únicamente a base de drivers.

En Agosto de 1998 apareció la Sound Blaster Live! que vio la introducción del procesador EMU10K1, de 2.44 millones de transistores DSP, capaz de 1000 millones de instrucciones por segundo (MIPS) destinado al procesamiento de audio. El EMU10K1 ofrecía aceleración DirectSound, EAX 1.0 y 2.0 (Environmental Audio Extensions o Extensiones de audio ambiental, complementados con A3D), con soporte de 64 voces de alta calidad, e integrando el chip FX8010 DSP (Digital Signal Processor o Procesador de señal Digital) para el proceso de efectos de audio digital en tiempo real, contando aún con un limitado pero buen soporte Ms-Dos a través de un controlador virtual Sound Blaster 16.

La Sound Blaster Live! tenía mejor calidad de audio que las anteriores Sound Blasters, ya que procesaba el sonido digital en cada estado, y como consecuencia de su mayor integración entre chips redujo la pérdida de señal analógica, que sí tenían las tarjetas más antiguas. La Sound Blaster Live! soportaba salida multicanal, inicialmente en una configuración de 4 altavoces (4 satélites y un subwoofer).

Esta tarjeta es la real sucesora de la leyenda del sonido ISA, la SB16, y que ha tenido a lo largo de su vida una gran cantidad de versiones. Una tarjeta muy innovadora y poderosa por la que sus creadores se jactaban de tener la potencia de un Intel Pentium 90, comenzando sus andaduras con dos versiones originales, la versión Live! Gold y la Live! Ambas tarjetas eran exactamente iguales en sus componentes soldados, la única diferencia era que la Gold incluía un Desk de 5 1/4, un conector interno más de sonido dirigido hacia el video y tanto los plugs como el conector Midi/GamePort bañados en oro.

En 1999, comenzaron a salir las distintas versiones de la Live! remplazando así la Live! Gold y la Live!, y mejorando la tecnología del empaquetado del chip, haciéndolo más delgado. Algunas de estas se llamaron Live! Gamer, que carecía del puerto Midi/GamePort Live! Mp3 y otras variantes llegando la Live! 5.1, la cual, retornaba a las inclusiones que tenía la Live! original, con la ventaja de tener más canales, un empaquetado del chip más delgado aún y el Midi/GamePort, terminando su ciclo con Live! 24 bit, que, era meramente un engaño dependiendo de donde se mire, para tener una versión económica por la llegada de Audigy, ya que dicha tarjeta no podía realizar sonidos de 24bits por la limitación del EMU, ya que esta tarjeta no traía el EMU10k1, sino que albergaba en su circuitería un chip muy similar al del Audigy, el CA0106-DAT-LF.

Posteriormente, en Agosto de 2001, la Sound Blaster Audigy presentaba el procesador Audigy (EMU10K2), una versión mejorada del procesador EMU10K1 que venía con la

Sound Blaster Live! La Audigy podía procesar hasta 4 entornos EAX simultáneamente con su DSP mejorado integrado en el chip, soporte nativo EAX 3.0 ADVANCED HD, y soporte desde estéreo hasta salida de 5.1 canales.

La Audigy fue publicitada como una tarjeta de sonido de 24 bits. Por otra parte, con alguna controversia, el transporte de audio de la Audigy (motor DMA) fue limitado a 16 bits y 48 kHz (como la Live!), y todo el audio tenía que ser remuestreado a 48 kHz para ser renderizado a través del DSP, o grabado en el DSP.

En septiembre de 2004, la Sound Blaster Audigy 2 presentaba un procesador mejorado EMU10K2, a menudo referido a él como EMU10K2.5, y tenía un transporte de audio (motor DMA) que podía soportar la reproducción de audio a 24 bits de precisión hasta los 192 kHz (sólo 2canales. 6.1 limitado a 96 kHz) y grababa a 24 bits de precisión hasta los 96 kHz, siendo ésta la mayor crítica hacia su predecesor. Por otra parte el DSP fue limitado de nuevo a los 16 bits a 48 kHz, por lo que todos los efectos DSP estaban inhabilitados para prevenir un remuestreo desagradable.

La Audigy 2 soportaba hasta 6.1 altavoces y tenía un mejorado ratio de señal-ruido SNR sobre la Audigy (106 dB contra 100 dB). También se caracterizaba por llevar soporte nativo de decodificación Dolby Digital 5.1 EX (el cual es técnicamente 7.1) para reproducción mejorada de DVD.

La Sound Blaster Audigy 4 mejora la Sound Blaster Audigy 2 ZS mejorando el ratio señal-ruido (SNR) de esta hasta 113 dB. Esta presenta la misma tecnología que la Audigy 2 ZS (actualmente usa el mismo chip Audigy 2), pero por otra parte usa un nuevo hub I/O (entrada/salida) externo y ofrece una calidad superior de conversión de audio digital a analógico. También permite la grabación de hasta 6 canales de audio simultáneos a 96 kHz y 24 bits. También soporta un máximo de 7.1 canales a 96 kHz y 24 bits, y salida estéreo a 192 kHz y 24 bits.

La Sound Blaster Audigy 4 SE es extremadamente similar, si no idéntica, a la Audigy 2 Value (serie económica). Carece de puerto firewire y de conectores de oro. Por otra parte usa el mismo procesador de audio DSP y es funcionalmente tan capaz como las series Audigy 2 y 4. Presenta aceleración completa por hardware de DirectSound y EAX.

Las X-Fi (por "Extreme Fidelity" o Alta Fidelidad) fueron lanzadas en Agosto de 2005 y aparecían en diversas configuraciones: XtremeMusic, Platinum, Fatality FPS y Elite Pro. El chip de audio EMU20K1 de 130 nm opera a 400 MHz y tiene 51 millones de transistores. El poder computacional de este procesador y, en consecuencia, su rendimiento, está estimado en 10,000 MIPS (million instructions per second o millones de instrucciones por segundo), que es 24 veces mayor que su predecesor, el procesador Audigy. Es interesante destacar que el poder computacional del procesador está optimizado para el modo de trabajo seleccionado por software. Con la arquitectura de las X-Fi (AMA), el usuario puede escoger uno de los tres modos de optimización: Gaming (juegos), Entertainment (entretenimiento), y Creation (creación); cada uno activa una combinación de características en el chipset. La X-Fi usa EAX 5.0 que soporta hasta 128 voces con posición 3D con hasta 4 voces aplicadas en cada una.

La X-Fi, en su salida ofrecía una de las capacidades de mezclado más altas posibles, haciendo de ella una tarjeta de inicio para músicos muy interesante. La otra gran mejora

de la X-Fi sobre las anteriores Audigy fue el completo soporte del motor de remuestreo sobre la tarjeta. Las anteriores tarjetas Audigy tenían sus DSP fijados a 48/16, lo que significaba que cualquier contenido que no se correspondía con esas frecuencias era remuestreado en la tarjeta por hardware; el cual era realizado pobremente y distorsionaba el sonido.

Muchos usuarios avanzados trabajaron sobre esto, usando decodificadores que remuestreaban el sonido en alta calidad o por medio de plugins para el reproductor de audio. Creative re escribió completamente el método de remuestreo para las X-Fi y dedicó más de la mitad del poder del DSP al proceso; el resultado, un remuestreo muy limpio.

Las X-Fi PCI-e (“PCI Express”) vieron la luz a finales 2007 y principios del 2008. Esta versión es una actualización de las X-Fi PCI tradicionales por la razón de que el puerto PCI estaba en vías de extinción y Creative consideró que era hora de evolucionar y saltar al nuevo puerto que se estandarizaría eventualmente, el PCI-e x1.

Las X-Fi de puerto PCI-e son intrínsecamente iguales a las anteriores, aunque el chip de audio, llamado EMU20K2 o CA20K2 (es lo mismo), posee ligeras modificaciones con respecto al EMU20K1. Sigue yendo a 400 MHz, presenta la misma potencia que su antecesora, las modificaciones que posee son para que funcione correctamente en los puertos PCI-e x1, se le añadió un buffer por la razón de la inconsistencia en la forma del envío de información de la arquitectura PCI-e, enviando la información en forma intermitente cuando el PCI es constante, además de habilitar las decodificaciones digitales por hardware como el Dolby Live y el AC3, que se activan si está presente el software reproductor, cuando antes estas decodificaciones estaban habilitadas en las versiones Elite y Premium clase Fatality que traían el desk de “5 1/4” y si se hallaba el software reproductor. Además de mejoras de estabilidad, corrigiendo también el defecto del sobrecalentamiento que obligaba a incorporar un disipador al EMU20K1 de la versión PCI, siendo cambiado el proceso de fabricación del packaging, y probablemente bajado el tamaño de nanómetros en su fabricación.

La estructura de las versiones de las X-Fi sigue manteniéndose parcialmente. Las que lleven la nomenclatura Fatality traen 64 MB de X-Ram, las que no sean Fatality, las que sean X-Fi Titanium traen 16MB de X-Ram, abandonando los 2MB.

La X-Fi ExtremeAudio tanto en su formato PCI como PCI-e (hay que tener cierto cuidado con esta última ya que no posee el EMU20K1 ni el EMU20K2), poseen una re-actualización del chip incluido en la Live! 24 bit y Audigy SE combinado con características halladas en el chip de la Audigy 4 Pro. El chip es llamado CA0110, el cual posee características de 24 bit similares al EMU20K-. Este modelo de tarjeta después de su paso por el PCI fue la primera tarjeta de Creative en salir para el puerto PCI-e a principios del 2007.

Puede que no resulte muy correcto que lleve el nombre de X-Fi, pero en parte hay que tener en cuenta la lógica de Creative, y es que ellos engloban el producto para designar una generación con un nombre, aunque hay que tener cuidado porque eso genera confusión, ya que hay que ser conscientes de dicha diferencia, ya que esta tarjeta está pensada para un costo mucho menor, ya que el CA0110 es un chip menos complejo pero suficientemente eficiente para no defraudar al usuario que escucha música o ve películas, la cual tiene una relación SNR de 104dB. Algo muy meritorio, ya que las X-

Fi con el EMU20K- rondan los 109dB a excepción de la X-Fi Elite Pro Fatality PCI que es de 116dB de SNR y la X-Fi Titanium HD de 122dB, además de soportar EAX 4.0 nativamente, aunque carece de X-Ram tanto en PCI como en PCI-e.

Esto demuestra que Creative Labs trabajan mucho con sus chips arreglándolos y mejorándolos. Algún día el EMU20K- formará parte de algún otro chip de menor complejidad. Otro punto a destacar es que el modelo de chip CA0110, que se aloja en las X-Fi Extreme Audio PCI-e, también lo ofrece Creative a ensambladores para que lo integren en sus tarjetas o en sus placas base, ya que este pequeño chip es en parte ideal para placas base por su reducido tamaño, coste y ser muy eficiente. Una desventaja que tiene es que no funciona en Linux con ALSA 1.0.23.

Hay que destacar que Creative dentro de todo usufructúa bastante las capacidades de sus chips de audio continuando ofreciendo a terceros los chips desde la era X-Fi, haciendo ellos mismos variantes con un mismo núcleo, habilitando, deshabilitando o mejorando, incluso variando el software administrado para la función en la que es vendida.

Por si no fuera poco, Creative lanzó posteriormente una tarjeta que se diferencia totalmente de las demás. Aunque lleva el poderoso núcleo el EMU20k2, esta posee una reestructuración en el diseño y su ensamblado electrónico, la calidad de señal ruido supera los 116dB de la X-Fi Elite Pro Fatality PCI, máximo exponente en calidad de sonido por parte de Creative. Esta nueva tarjeta lleva el nombre de X-Fi HD y su rango llega a los 122dB de SNR debido al cambio del DAC (convertor digital-analógico) y el remplazo total de los condensadores comunes por los condensadores sólidos. Tiene una curiosidad un poco confusa por el rango de esta tarjeta, ya que en vez de incluir la X-Ram de 64 MB, trae solo 16 MB, algo curioso porque el modelo superior, que sería la Elite Pro Fatality, traía 64 MB de X-Ram. Por eso, en parte, Creative rompió su propia nomenclatura. También tiene un rediseño del I/O trasero, remplazando los conectores por conectores profesionales RCA y dos conectores de auricular como la vieja AWE64. Cuenta también con conexiones bañadas en oro y su cubierta de metal no es total sino parcial, teniendo un acrílico ahumado semi-traslucido permitiendo ver sus componentes y poder realizar modificaciones, por tener sockets OP-amp personalizables, aunque está dirigida para un público dedicado al audio, también sirve para los juegos y solo funciona en Windows Vista y Windows 7 no soportando Windows XP.

En febrero de 2012, Creative lanzó al mercado su nueva tarjeta de sonido Sound Blaster para PC, con un nuevo chip de sonido llamado Core3D, el CA0132, y que viene a remplazar al ya mítico EMU 20k1 y 20k2 más comúnmente llamados X-Fi, uno de los chips de sonido para PC más poderosos actuales. El nuevo procesador de sonido Core3D es un chip quad core, notoriamente mucho más pequeño al 20K- tras realizar Creative serios cambios en la manufactura de los mismos. Dicho chip proviene del dispositivo USB Sound Blaster Reacon3D, que fue el primero en utilizar este nuevo chip, saltando a las clásicas tarjetas de sonido para PC y también creado para llegar a formar parte de placas base por su reducido tamaño.

Según Creative, Core3D al poseer cuatro núcleos o DSP (Digital Singal Processors), son totalmente independientes entre sí uno del otro, capaces de procesar por separado distintas fuentes de sonido en un mismo ciclo de reloj.

Este nuevo producto cuenta con DAC de seis canales de 24bit a 102dB, ADC de cuatro canales de 24bit a 101dB, sistema de altavoces 5.1 y tiene menor SNR comparada con su antecesora la X-Fi con chip 20K-.

Según los resultados, la Reacon3D es una tarjeta que está por debajo de la calidad de las X-Fi en general, un dato reseñable para un producto que remplaza a una gran tarjeta, ya que en el trato de la música, películas, televisión y demás, no destaca en nada, una X-Fi con el EMU 20K- es muy superior. Ahora, en el ámbito de los juegos la tarjeta demuestra que fue concebida para ello, ya que muestra tener una calidad muy precisa además de poseer un extraño truco llamado Scout Mode que permite llegar a escuchar los disparos lejanos y saber de dónde proviene.

Técnicamente la Reacon3D fue concebida para sustituir a una potente tarjeta, aun teniendo gran cantidad de enteros sobre su sucesora, ya que la Reacon3D peca por haber sido pensada para el mundo gamer y no es un producto balanceado como han sido todas las Sound Blaster. Al igual que sus antecesoras, a partir de la Sound Blaster Live!, el chip Core3D soporta todas las versiones de las instrucciones EAX hasta la EAX Advanced HD 5.0, que fue introducido por las X-Fi en el 2005, estando nuevamente certificada por THX Studio. El puerto de conexión utilizado de la tarjeta en la placa base es PCI Express x1, Creative abandonó definitivamente el PCI a partir de la X-Fi Extreme Audio PCI-e continuando con las versiones Titanium, siendo un punto con vista al futuro con la lenta desaparición del PCI.

Una particularidad es que la Reacon3D es la primera tarjeta de Creative que trae una Firmware flasheable, que, según parece, podrían llegar a solventar problemas de hardware en algún futuro, ya sea de compatibilidad etc.

Creative después de las primeras versiones de tarjetas Reacon3D, ha lanzado una nueva versión mejorada, a la que ha bautizado como Sound Blaster Z, aunque también puede que sea llamada Sound Blaster Reacon3D Z. Este nuevo modelo basado en el núcleo de sonido Core3D, es un modelo más parecido a cómo debería haber salido desde un principio. Posee mejoras en la calidad de sonido con una SNR más amplia de 116dB, la misma calidad de salida que la X-Fi Elite Pro Fatality PCI. Eso demuestra que Creative realmente tiene buenos productos.

La SNR en la salida para altavoces es de 116dB, y en la salida para los auriculares, ya sea amplificado de 33 ó 600 ohms es de 105dB. Estos son valores más altos y más acordes a un producto nuevo que incluye nueva tecnología llamada SBX "SBX Pro Studio technologies", la cual permite crear un entorno totalmente envolvente, tanto en audio como en los juegos, también trae conectores bañados en oro para así mejorar la calidad de transferencia.

De la Sound Blaster Z, han salido tres versiones; la propiamente dicha Z y su gemela Zx, que posee las mismas propiedades que la anterior, la cual cuenta además con un módulo de control de volumen, abreviado como ACM en sus siglas en inglés (Audio Control Module).

Por último, se encuentra una tarjeta un tanto singular, que son dos tarjetas, llamada Sound Blaster ZxR. Esta tarjeta tiene una SNR en sus amplificadores de 124 dB, superando en 2dB a la X-Fi Titanium HD. La ZxR es una tarjeta que trae dos chips Core3D, está compuesta por una tarjeta madre que se conecta al PCI-e y que trae uno de los chips CA0132 conocido como Core3D. Esta tarjeta tiene un tamaño similar a la X-Fi Titanium HD y una tarjeta más pequeña que incluye el otro chip CA0132. En total estaríamos hablando de una tarjeta de sonido de 8 núcleos de proceso, ya que cada

Core3D es quad core, incluyendo el control de volumen ACM. Esta tarjeta está enfocada al ámbito de audio. Técnicamente esta tarjeta sería la sucesora de la X-Fi Titanium HD.

1.3 – Usos.

El principal uso de las tarjetas de sonido consiste en proveer mediante un programa que actúa de mezclador, que las aplicaciones multimedia del componente de audio suenen y puedan ser gestionadas. Estas aplicaciones multimedia engloban procesado, composición y edición de video o audio, presentaciones multimedia y entretenimiento (videojuegos).

Algunos equipos (como los personales) tienen la tarjeta ya integrada, mientras que otros requieren tarjetas de expansión (estos se pueden conectar mediante USB o firewire). También hay otro tipo de equipos que por circunstancias profesionales (como por ejemplo servidores) no requieren de dicho servicio.

Las tarjetas de sonido pueden tener varios usos, tanto a nivel usuario como a nivel profesional. A nivel usuario pueden usarse para reproducir audio de videojuegos, o en el caso de tarjetas dedicadas exclusivamente a trabajo con sonido (tanto internas como externas), estas son usadas en los denominados home studios (estudios de grabación montados en casa). Para esto último, aunque se usen de los dos tipos, las más utilizadas son las externas (conexión tanto USB como firewire), ya que las internas necesitan ir conectadas a mesas de mezclas (uso profesional), hecho que encarece el precio y las externas son fáciles de transportar en caso de necesidad debido a su reducido tamaño y peso.

Para uso profesional se suelen usar tarjetas de sonido internas (Hamerfall, PCI, etc.) que son conectadas a mesas de mezclas mediante salidas ópticas, hecho mediante el cual se obtiene una calidad de señal mayor y más rápida.

1.4 - Estructura y función de cada componente de la tarjeta de sonido.

1.4.1 - Buffer.

Se trata de un parámetro muy importante dentro de la tarjeta de sonido que a su vez está muy relacionado con la latencia.

En cualquier grabación multipista en la que se grabe una canción añadiendo una pista tras otra, se necesitará poder escuchar la pista que se está grabando en ese momento al mismo tiempo que las que ya se hayan grabado. Esto no causa ningún problema con los grabadores por hardware (forma de grabación que no necesita un ordenador para registrar el sonido), pero puede presentar algunos problemas a la hora de grabar con ordenador debido a un efecto denominado latencia.

La latencia es una característica propia de las tarjetas de sonido en mayor o menor grado, la cual se define como un lapso de tiempo entre la señal de entrada y la salida de esa señal en la tarjeta de sonido.

Esto se refleja de tal forma que se escucha lo que se está tocando un poco más tarde de lo que debiera.

Esta latencia tiene más que ver con el sistema operativo del ordenador que con la tarjeta de sonido. Dependiendo del sistema operativo, de la velocidad de la CPU o de si se graba a 16 bits/44.1 kHz o a 24 bits 96 kHz la latencia será mayor o menor.

Las latencias en los ordenadores con sistema operativo OS suelen ser menores que en los PCs. Para poder manejar este problema, algunas tarjetas ofrecen monitorización directa con latencia cero, o también drivers, como los ASIO ('Audio Stream Input/Output', este es un protocolo de ordenador para audio digital de Steinberg, que provee una baja latencia y una interfaz de alta fidelidad entre el software (aplicación), el hardware y la tarjeta de sonido) o los EASI (controlador de dispositivos orientado a proporcionar el máximo rendimiento posible de las tarjetas de sonido, tratando de evitar los problemas que causan los sistemas operativos.), que reducen la latencia al manejar directamente el flujo de audio.

1.4.2 - DSP (Digital Signal Processor).

Es un procesador dedicado (audio) en el cual el procesador principal delega la tarea del procesado de señales. Provee secuencias adicionales de instrucciones rápidas, como desplazar y agregar, multiplicar y sumar, comúnmente utilizadas en aplicaciones de procesamiento de señales intensivas en matemáticas.

Los chips DSP se utilizan para comprimir y descomprimir formatos de audio, así como para asistir con la grabación y la síntesis de reproducción y del habla.

Estos trabajan en conjunción con los conversores AD y DA y una de sus funciones es el procesado de efectos en tiempo real de las pistas de audio.

1.4.3 - Mezclador.

Este componente de la tarjeta de sonido tiene como finalidad recibir múltiples señales, combinarlas adecuadamente, y encaminarlas hacia las salidas. Para ello, puede mezclar varias señales (analógicas o digitales) o seleccionar alguna de ellas, pudiendo provenir estas, tanto de la propia tarjeta, como del exterior.

La elección de qué señales escoger y cómo mezclarlas se puede configurar por software.

1.4.4 - Conectores.

Son los elementos físicos que permiten la conexión con los dispositivos externos, los cuales pueden ser de entrada o de salida. Se pueden encontrar de dos formas según la ubicación:

- Internos (Tarjetas PCI): Casi todas las tarjetas de sonido se han adaptado al estándar PC 99 de Microsoft, que consiste en asignarle un color a cada conector de la tarjeta según la siguiente tabla.

Color	Función
Rosa	Entrada analógica para micrófono.
Azul	Entrada analógica "Line-In"
Verde	Salida analógica para la señal estéreo principal (altavoces frontales).
Negro	Salida analógica para altavoces traseros.
Plateado	Salida analógica para altavoces laterales.
Naranja	Salida Digital S/PDIF (que algunas veces es utilizado como salida analógica para altavoces centrales)

Tabla 1. Código estándar de colores de tarjetas de sonido PCI

- Externos (Tarjetas USB o Firewire): Entre ellos los más comunes (tanto machos como hembras) que se pueden encontrar son los siguientes

Conector	Descripción
Jack mono (TS)	Tipo de conector de audio el cual cuenta con únicamente un canal y masa, es decir, transporta señales monofónicas.
Jack estéreo (TRS)	Tipo de conector de audio el cual cuenta con dos canales (L y R) y masa, lo cual permite llevar señales balanceadas.
RCA	Es muy utilizado para la conexión de equipos. Normalmente van por parejas porque se usan para señales estéreo. Estos conectores también se utilizan en señales digitales S/PDIF.
Canon o XLR ('Xternal Live Return' o 'Retorno Externo Activo')	Tipo de conector que suele conectarse en líneas balanceadas, el cual es el más utilizado para aplicaciones de audio profesional. Cuenta con tres pines o patillas (1-masa, 2-signal de ida también conocido como vivo y 3-signal de vuelta conocido como retorno).
BNC (Bayonet Neill-Concelman)	Es un tipo de conector para uso con cable coaxial, el cual se puede usar para la conexión entre tarjetas de sonido y equipos como por ejemplo previos.

Tabla 2. Tipos de conectores externos.

1.4.5 – Tipos de conexiones entre tarjeta-ordenador.

Existen diferentes tipos de conexión de las tarjetas de sonido al ordenador. Entre ellos se encuentran:

- PCI ('Peripheral Component Interconnect' o 'Interconexión de Componentes Periféricos'): Es un bus de ordenador estándar para conectar dispositivos periféricos directamente a la placa base. Estos dispositivos pueden ser circuitos integrados ajustados en ésta o tarjetas de expansión que se ajustan en conectores. Es un tipo de conexión muy común en PC en la actualidad, pero también se emplea en otro tipo de ordenadores. El bus PCI también permite una configuración dinámica de un dispositivo periférico.



Figura 1.1. Conectores PCI

- USB ('Universal Serial Bus' o 'Bus universal en serie'): El USB es un estándar industrial desarrollado en los años noventa que define los cables, conectores y protocolos usados en un bus para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre ordenadores y periféricos o dispositivos electrónicos. El sistema USB fue diseñado para estandarizar la conexión de periféricos. Existen diferentes tipos de conexiones USB como A y B. Los más usados en tarjetas de sonido externas son los del tipo B.



Figura 1.2. Conectores USB

- Firewire: Se denomina al tipo de puerto de comunicaciones de alta velocidad desarrollado por la compañía Apple. La denominación real de esta interfaz es la IEEE 1394. Se trata de una tecnología para la entrada/salida de datos en serie a alta velocidad y la conexión de dispositivos digitales.

Esta interfaz se caracteriza principalmente por su gran rapidez (siendo ideal para su utilización en aplicaciones multimedia y almacenamiento), alcanza una velocidad de 400 megabits por segundo manteniéndola de forma bastante estable, flexibilidad de la conexión (tiene una capacidad de conectar un máximo de 63 dispositivos), acepta longitudes de cable de hasta 425 cm, respuesta en el momento, puede garantizar una distribución de los datos en perfecta sincronía, alimentación por el bus (pueden proporcionar o consumir hasta 25v), conexión plug & play.



Figura 1.3. Conectores Firewire

- PCMCIA: Es un dispositivo que se inserta en una ranura especial del ordenador. Normalmente, los ordenadores portátiles traen este tipo de ranuras, aunque existen también lectores externos de tarjetas PCMCIA que pueden conectarse a un ordenador de sobremesa. Estos lectores se enchufan al puerto serie o paralelo del ordenador, y una vez instalados funcionan igual que en un computador portátil.



Figura 1.4. Conector PCMCIA

1.4.6 - Sintetizador Tabla de Ondas.

La síntesis mediante tabla de ondas es un método de síntesis que en vez de generar sonido de la nada, utiliza muestras grabadas de los sonidos de instrumentos reales. Estas muestras están almacenadas en formato digital en una memoria ROM incorporada,

aunque también pueden estar en memoria principal y ser modificables. El sintetizador busca en la tabla el sonido que más se ajusta al requerido en cada momento. Antes de enviarlo realiza algunos ajustes sobre la muestra elegida, como modificar el volumen, prolongar su duración mediante un bucle (repetitiva), o alterar su tono a base de aumentar o reducir la velocidad de reproducción.

Este componente puede tener una salida analógica o digital, aunque es preferible la segunda. En general el sonido resultante es de mayor calidad que el de la síntesis FM.

Alternativamente, este proceso puede ser llevado a cabo enteramente por software, ejecutado por la CPU con muestras almacenadas en disco y un algoritmo apropiado (códecs de audio). Esta técnica es muy utilizada porque permite abaratar el coste de la tarjeta.

1.4.7 - Sintetizador FM.

La modulación en frecuencia (FM) es el proceso de combinar una señal de AF (Audio Frecuencia) con otra de RF (Radio Frecuencia) en el rango de frecuencias entre 88 MHz y 108 MHz, tal que la amplitud de la AF varíe la frecuencia de la RF.

1.4.8 - ADC/DAC.

Al conectar unos altavoces a la tarjeta de sonido, existe un componente que transforma los datos digitales en analógicos para que sean reproducidos por los altavoces. De eso se encarga el DAC (Digital-Analog Converter o Conversor Digital-Analógico en castellano).

En cambio en el ADC (Analog-Digital Converter o Conversor Analógico-Digital) se transforman los datos analógicos que llegan por el cable en muestras digitales (Muestreo Digital) para que se puedan almacenar en el disco duro.

Alguien puede necesitar reproducir sonido, tratarlo al mismo tiempo con una fuente externa y volver a grabarlo, o, sencillamente, reproducir y grabar al mismo tiempo. Esta característica se conoce como "full duplex" y se encuentra presente en la mayoría de placas actuales. Para ello, los dos conversores ADC-DAC deben trabajar de forma separada.

1.4.9 – Previos.

Suelen llamarse previos o preamplificadores de sonido a los dispositivos electrónicos capaces de amplificar señales de baja intensidad, como suelen ser: los micrófonos, los platos de Djs, las guitarras eléctricas, teclados y sintetizadores etc...

Estos previos o preamplificadores de sonido se encargan de ofrecer la suficiente señal a su salida como para poder conectarlos a un amplificador de potencia, a una mesa de

mezclas o a una tarjeta de sonido. Además de aumentar la señal, los previos también aíslan y aumentan el rendimiento al ajustarse a la impedancia (resistencia) del instrumento o micrófono al que se conectan. Algunos previos de audio permiten incluso utilizar sus ajustes de tono, ecualizadores o efectos de sonido internos o externos. Se explica más detalladamente en el apartado 2.2.

1.4.10 – Control de ganancia y PAD.

El control de ganancia es un control giratorio que se encargan de ajustar la sensibilidad de la señal de entrada micrófono y línea para acomodar los niveles de entrada nominales de diversas fuentes. Este es uno de los primeros ajustes que se realizan en las pruebas de sonido ajustándolo de tal forma que en ningún momento sature, evitando así la distorsión.

Por otro lado el PAD (o atenuador) es un conmutador que atenúan la señal de entrada en una cantidad de decibelios determinada (lo más común son 20 dB).

1.5 - Estructura del ADC/DAC.

A continuación se muestra un esquema de cómo funciona la parte de conversión de la señal analógica a una digital.

1.5.1 – ADC.

Esta parte del conversor es la que se encarga de transformar los datos analógicos en digitales para ser procesados y almacenados en el disco duro.

A continuación se muestra un esquema del proceso que sigue la señal hasta ser transformada de analógica a digital.

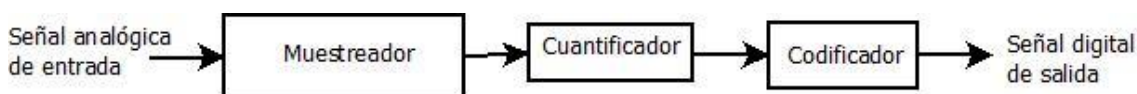


Figura 1.5. Esquema de conversión analógico - digital

Muestreo digital: Las tarjetas de sonido transforman una señal continua (analógica) en una discreta. La señal de la voz es continua en el tiempo y en amplitud. Para que pueda ser procesada por hardware (y software) digital es necesario convertirla a una señal que sea discreta tanto en el tiempo como en amplitud. La captura de la información acústica se realiza mediante transductores analógicos y requiere la realización de un muestreo digital o conversión analógica / digital (A/D), antes de poder procesar la información por medios informáticos.

El muestreo digital es un proceso de muestreo a intervalos de tiempo regulares, consistente en la obtención del valor que toma la señal original en un momento dado. El

número de muestras por segundo se conoce en inglés como *bit rate*. Si este es lo suficientemente alto, la señal muestreada se parecerá más a la señal original.

Algunas tarjetas incorporan interpolación, mediante la que se suavizan los picos y se puede volver a obtener una onda más parecida a la original, mejorando, según los fabricantes, la calidad de sonido.

Todas las tarjetas de sonido domésticas pueden trabajar con una resolución de 44'1 kHz, y muchas incluso lo hacen a 48 kHz. Las semi-profesionales trabajan en su mayoría con 48 kHz, mientras que las profesionales llegan cerca de los 100 kHz. La utilización de este muestreo ampliado se debe al mismo motivo por el que algunas tarjetas utilizan más de 16 bits para cada muestra: si los datos de partida no son suficientemente fieles o después nos dedicamos a procesar el sonido, perderemos calidad, así que cuanto más calidad tengamos en un principio, mejores resultados se obtendrán al final.

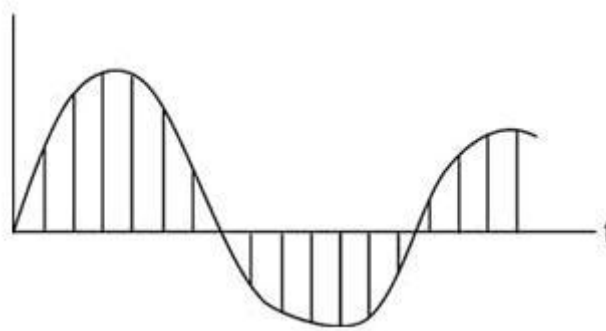


Figura 1.6. Señal muestreada.

Cuantificación: La cuantificación es la conversión de una señal discreta en el tiempo evaluada de forma continua a una señal discreta en el tiempo discretamente evaluada. El valor de cada muestra de la señal se representa como un valor elegido de entre un conjunto finito de posibles valores.

Se conoce como error de cuantificación (o ruido), a la diferencia entre la señal de entrada (sin cuantificar) y la señal de salida (ya cuantificada), interesa que el ruido sea lo más bajo posible.

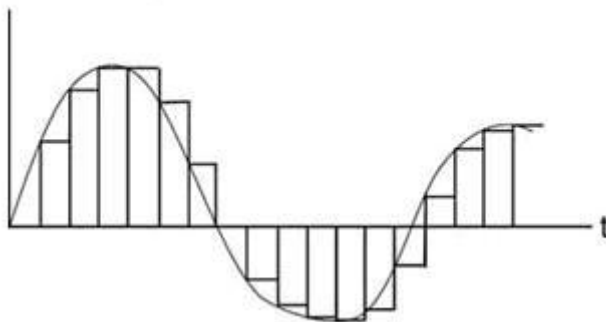


Figura 1.7. Señal cuantizada.

Codificación: La codificación consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos, que ya han sido cuantificados al sistema binario, mediante códigos preestablecidos. La señal analógica va a quedar transformada en un tren de impulsos digital (sucesión de ceros y unos).

1.5.2 – DAC.

En esta parte del conversor se transforman los datos digitales en analógicos (paso necesario para que la señal pueda ser reproducida por los altavoces).

A continuación se muestra un esquema con la descripción de este proceso.

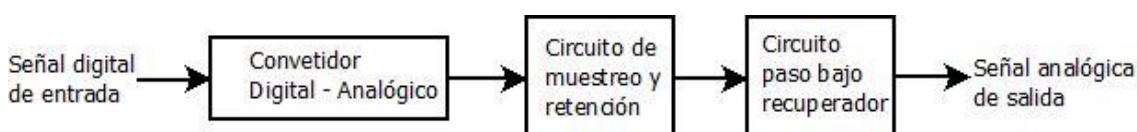


Figura 1.8. Esquema de conversión digital - analógico

Convertidor Digital-Analógico: Este convertidor, genera una tensión cuyo nivel esta determinado por la palabra digital en su entrada y su funcionamiento es conceptualmente hablando, contrario al del convertidor A/D. En teoría, sería el único dispositivo necesario para realizar esta conversión, pero al igual que ocurría con su análoga, serán necesarios ciertos “mecanismos” que mejoren los resultados y eviten ciertos problemas tal y como se muestra en los siguientes apartados.

Circuito de muestreo y retención: Desempeña una labor que poco tiene que ver con la realizada por este circuito en la conversión A/D. No muestrea una forma de onda continua, sino que lo hace a la salida del conversor D/A el cual produce tensiones en intervalos discretos de tiempo. Podría pensarse que este muestreo no es necesario, puesto que la salida del conversor D/A y la correspondiente a la etapa de muestreo y retención deberían ser iguales, sin embargo el conversor genera salidas erróneas e impredecibles durante las transiciones (glitches) de una palabra a la siguiente. Este circuito, denominado deglitcher, es el encargado de eliminar estas transiciones permitiendo el paso de la señal de salida del conversor cuando esta es estable y anulándola en las transiciones.

Filtro paso bajo recuperador: Este filtro también llamado filtro anti-imagen, tiene como misión eliminar todas las frecuencias por encima de la máxima de audio aparecidas en el proceso de muestreo. Ya que las frecuencias a eliminar están fuera del margen audible y las características de este filtro no responden a fenómenos del proceso de la audición, sino a posibles alteraciones que se produzcan al utilizar el equipo digital junto con otros de audio. Así, estas frecuencias, pueden producir distintas anomalías como: intermodulaciones con la frecuencia de polarización de magnetófonos analógicos, interferencias con el oscilador local de equipos de radiodifusión, aliasing con otros equipos digitalizadores o simplemente distorsión en los tweeters (que aparecerá por intermodulación en el margen audible).

El criterio de diseño de este filtro recuperador es análogo al del filtro anti-aliasing.

2.- IMPLEMENTACIÓN.

En este proyecto se pretende realizar la implementación y validación de una tarjeta de sonido pasando por diferentes diseños montados desde una Protoboard hasta llegar al definitivo, el cual será implementado en una PCB ('printed circuit board' o 'placa de circuito impreso', es decir, una placa con superficie de cobre sobre la que se realiza el diseño de las pistas del circuito mediante una fresadora).

El objetivo principal del proyecto es la construcción una tarjeta de sonido que sea barata y sencilla de montar, pero que a la vez esté calibrada con el fin de poderse usar como instrumento de medida. Y que a su vez, se obtengan resultados similares a los que pueden proporcionar tarjetas comerciales.

Después de estudiar varias posibilidades de chips con los cuales se podría implementar la tarjeta de sonido objeto de este proyecto, la opción final fue basar el diseño de ésta en un circuito integrado de TI (Texas Instruments), en concreto el que monta el chip PCM2904 (un códec estéreo de audio con interfaz USB). La razón por la que se eligió este integrado y no otros, también válidos para la implementación, como pueden ser el PCM2902 o PCM2906, es que estos últimos disponen de salida S/PDIF (salida digital), función que en este proyecto no se iba a utilizar, lo cual suponía un desaprovechamiento de recursos.

Algunas de las características de este integrado son que necesita una alimentación de 5V (proporcionada a través del terminal V_{BUS}), la tasa de muestreo en el conversor analógico-digital (ADC) es de 8, 11.025, 16, 22.05, 32, 44.1 ó 48 kHz, mientras que en el conversor digital-analógico (DAC) es de 32, 44.1 ó 48 kHz., se conecta al ordenador a través de conexión USB, el cual, a su vez, da la tensión requerida por el chip para su correcto funcionamiento, es decir, no necesita pilas o ningún otro tipo de alimentación externa.

El integrado cuenta con dos buses para la transferencia de datos (Transmisión y recepción, siendo estas D+ y D-) y una de alimentación como se ha indicado anteriormente (V_{BUS}). En el montaje de esta tarjeta se montarán dos conectores BNC a la entrada y un Jack hembra estéreo a la salida, esto permitirá tanto grabar como reproducir señales de audio en mono y estéreo.

Una de las principales razones por las que se eligió este circuito impreso es que se trata de un chip fácil de montar y de bajo coste. El datasheet (hoja de especificaciones) de este chip proporciona distintos esquemas de montaje para la realización de tarjetas de sonido como se puede observar a continuación. Incluyendo estabilizadores de tensión o no, a elección del usuario. Una de las mayores ventajas de este chip es que es plug&play, es decir, no necesita drivers, el propio sistema operativo lo reconoce e instala automáticamente los drivers necesarios para su correcto funcionamiento. Es compatible con los sistemas operativos Windows 98, Windows 2000, Windows XP y Mac OS en sus versiones 9.1, 10 y 10.1, no siendo válido para utilizar en Windows Vista y Windows 7, ya que estos sistemas operativos no son compatibles con los drivers del chip.

2.1 – Chip PCM2904

El esquema del chip, en el cual se indica la asignación de cada pin es el siguiente:

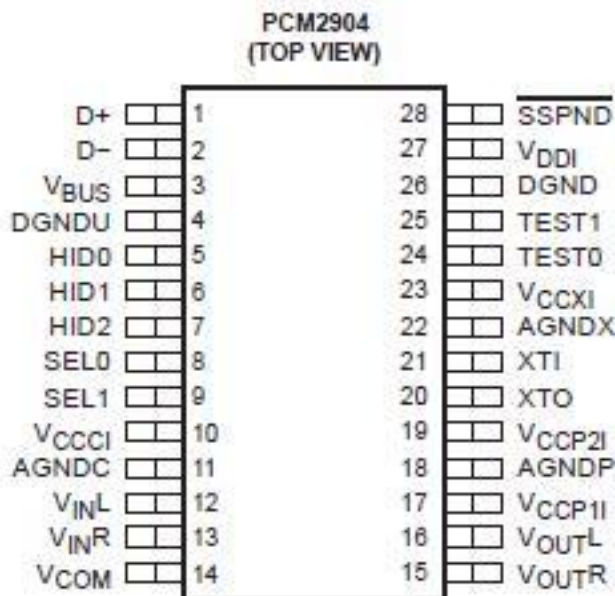


Figura 2.1. Esquema de pins del chip PCM2904

La función que cumple cada pin se detalla en la tabla siguiente:

Terminal Nombre	Número	I/O	DESCRIPCIÓN
AGNDC	11	-	Tierra analógica para el códec
AGNDP	18	-	Tierra analógica para PLL
AGNDX	22	-	Tierra analógica para el oscilador
D-	2	I/O	Input/output diferencial USB (-)
D+	1	I/O	Input/output diferencial USB (+)
DGND	26	-	Tierra digital
DGNDU	4	-	Tierra digital para el transceptor USB
HID0	5	I	HID estado de entrada (mute), activo a nivel alto
HID1	6	I	HID estado de entrada (vol. up), activo a nivel alto
HID2	7	I	HID estado de entrada (vol. down), activo a nivel alto
SEL0	8	I	Debe establecerse en alto
SEL1	9	I	Debe establecerse en alto
SSPND	28	O	Flag suspendido, activo a nivel bajo (Low: suspendido, High: operativo)
TEST0	24	I	Test pin, debe ser conectado a GND
TEST1	25	O	Test pin, debe dejarse abierto
VBUS	3	-	Conectar con alimentación USB (V _{BUS})
VCCCI	10	-	Fuente de alimentación interna analógica para códec
VCCPII	17	-	Fuente de alimentación interna analógica para PLL

V _{CCP2I}	19	-	Fuente de alimentación interna analógica para PLL
V _{CCXI}	23	-	Fuente de alimentación interna analógica para el oscilador
V _{COM}	14	-	Común para ADC/DAC ($V_{CCCI}/2$)
V _{DDI}	27	-	Fuente de alimentación interna digital
V _{INL}	12	I	Input analógico ADC para canal izquierdo
V _{INR}	13	I	Input analógico ADC para canal derecho
V _{OUTL}	16	O	Output analógico DAC para canal izquierdo
V _{OUTR}	15	O	Output analógico DAC para canal derecho
XTI	21	I	Input del oscilador de cristal
XTO	20	O	Output del oscilador de cristal

Tabla 3. Función de cada pin en el chip PCM2904

En el siguiente diagrama de bloques (figura 2.2) correspondiente al chip PCM2904 antes descrito se puede apreciar varias partes: Los conversores ADC/DAC para convertir la señal de analógica a digital y viceversa. V_{inR} y V_{inL} son las entradas de la señal al conversor ADC y V_{outR} y V_{outL} son las salidas de señal del conversor DAC. El bloque superior izquierdo es el regulador de tensión del chip, al cual le llega la señal de alimentación proveniente del USB, y el bloque de su derecha, el controlador de potencia.

Los FIFO (first in, first out) son los controladores de flujo de la señal en el chip.

El HID End-Point controla el volumen y el mute, señales provenientes de los pulsadores. Este bloque, a su vez, controla el volumen y el mute del ordenador al que esté conectado.

A través de USB SIE y XCVR se mandan y se reciben las señales del ordenador al chip y viceversa, como indican los terminales de datos D+ y D-.

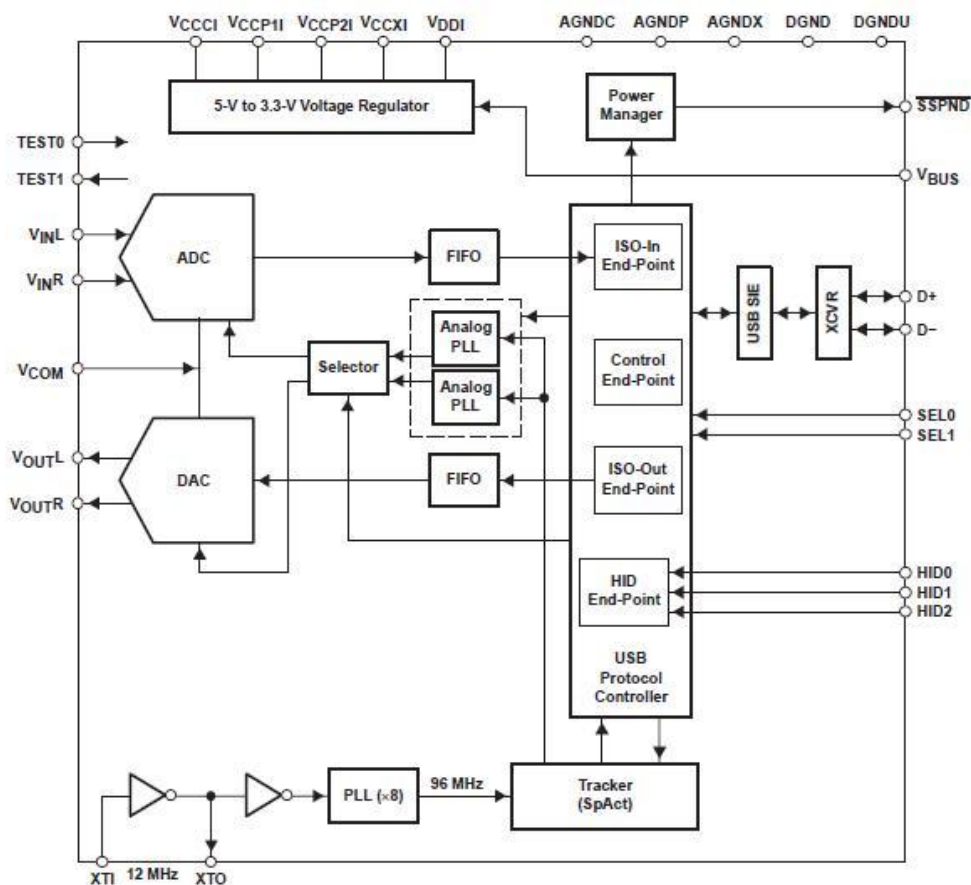


Figura 2.2. Diagrama de bloques del chip PCM2904

2.2 – Diseños y montaje.

Se llevaron a cabo tres implementaciones de la tarjeta de sonido:

2.2.1 – Primera implementación.

La primera implementación de las tarjetas de sonido se realizó de acuerdo al siguiente esquema (figura 2.3), ya que era un diseño fácil de implementar para probar si el circuito más sencillo de montaje de la tarjeta funcionaba correctamente y daba unos resultados adecuados. Se eligió este diseño ya que era el proporcionado por el datasheet del chip y como se ha mencionado antes, era de fácil montaje.

En el esquema se puede observar el USB de conexión con los terminales de datos, alimentación y masa (D+, D-, V_{BUS} y GND). En los terminales 5, 6 y 7 los pulsadores de MUTE, VOL UP y VOL DOWN. También se puede ver como los condensadores C9 y C10 son los que se colocan después de los conectores de entrada de audio y los C11 y C12 los de salida antes del conector de salida (para bloquear la señal de continua). El reloj de 12 MHz se coloca siempre cerca del chip, para que no surjan problemas de pérdida de sincronismo de la señal que llega a este, ya que una pérdida de sincronismo puede hacer que el circuito no funcione.

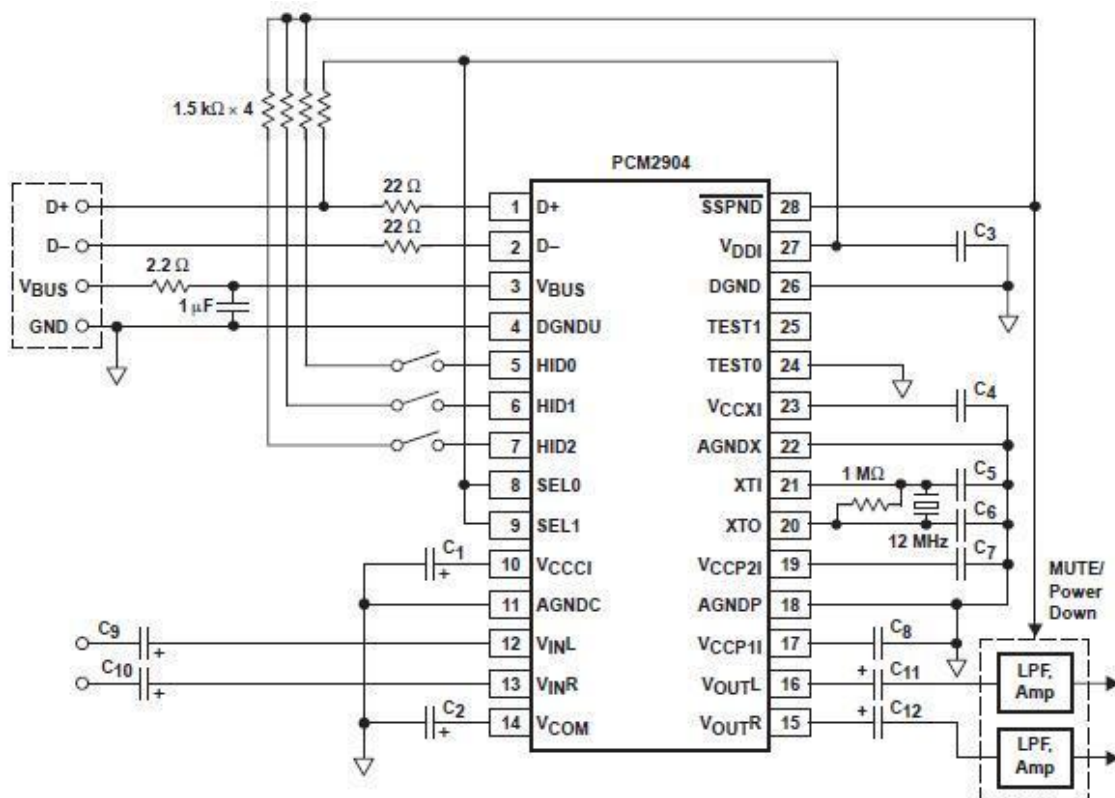


Figura 2.3. Esquema del primer montaje realizado de la tarjeta de sonido con el chip

El montaje físico de esta tarjeta se realizó sobre una Protoboard (figura 2.5 y 2.6).

Al intentar montar el chip en este soporte, surgió el impedimento de que no se podía insertar directamente, sino que había que poner un adaptador (figura 2.4) para poder insertarlo a la Protoboard, por eso se puede observar esa base a la que está acoplado el chip. Aunque se podía haber hecho el montaje en un espacio de la Protoboard más pequeño se realizó ocupando toda la placa con el fin de observar bien todos los componentes y, por si en algún momento, había algún problema, poder encontrarlo con relativa facilidad al estar todo más separado y ser más visible. Pero en realidad se pueden hacer diseños con un tamaño mucho más pequeño y que funcionen correctamente.

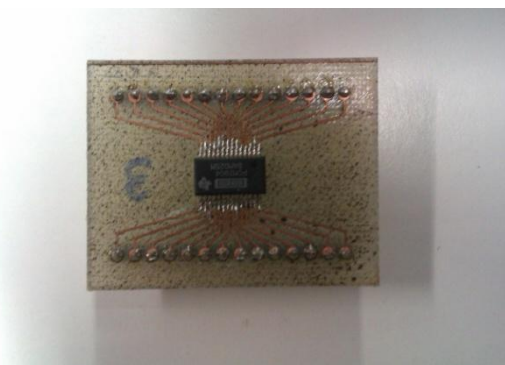


Figura 2.4. Chip montado en el adaptador para insertarlo en la Protoboard.

También hubo otro problema, y fue que la configuración de pines del cable USB que se conectaba a la placa no era igual que la del diseño, por lo que hubo que cambiar la forma de conectar los componentes.

La tarjeta montada según el esquema básico quedó de la siguiente manera después de su montaje:

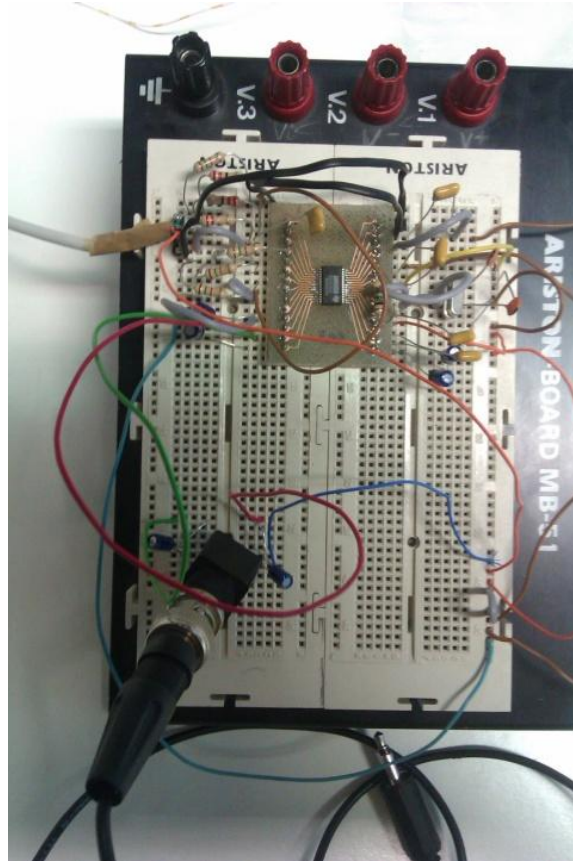


Figura 2.5. Primer montaje realizado de la tarjeta de sonido sobre la Protoboard

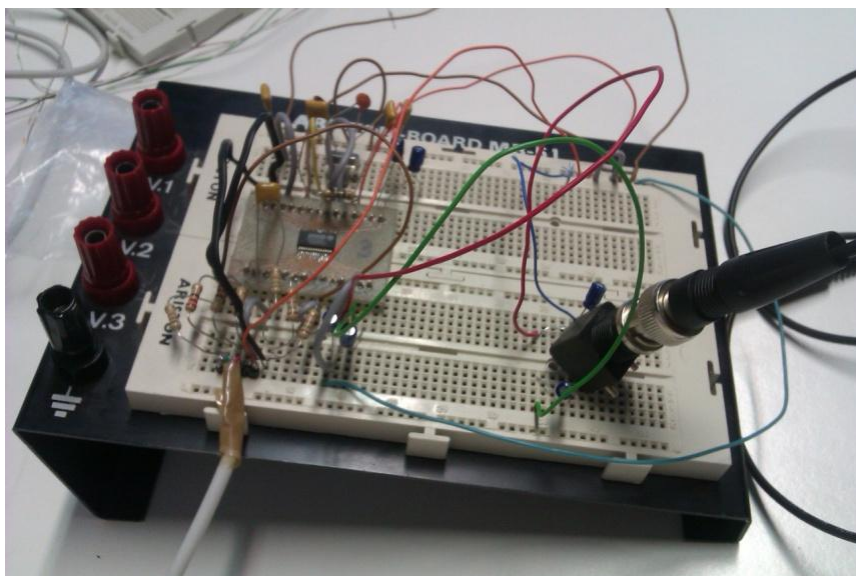


Figura 2.6. Primer montaje realizado de la tarjeta de sonido sobre la Protoboard

Este primer montaje funcionó correctamente la primera vez que se conectó (la explicación de la comprobación aparece en el punto 2.2.2).

Es un montaje muy básico por lo que fue fácil de montar, pero no se puede considerar un diseño útil para uso cotidiano ya que al no tener regulador de tensión, si no se tiene cuidado con la tensión que se le introduce a través del USB, puede verse reducida la vida útil del chip PCM2904.

2.2.2 – Segunda implementación.

La segunda implementación se realizó también sobre la Protoboard, pero, a diferencia de la primera, cuenta con un estabilizador de tensión (el cual hace que la tensión de alimentación sea más estable y a la par proporcione a dicha tarjeta una vida útil más larga). Este esquema no es exactamente el mismo que aparece en el datasheet del chip, aunque es un circuito muy parecido. El único cambio que se ha realizado es el cambio del regulador de tensión, ya que el modelo que recomendaba el fabricante (en el datasheet) era muy costoso y difícil de encontrar, pero se consiguió encontrar uno con las mismas funcionalidades. Este tipo de esquema que se muestra a continuación (figura 2.7) no es el proporcionado exactamente por el datasheet, sino que fue realizado con el programa EAGLE, con el que se realizó todo el proceso de diseño de la placa, incluido el de la PCB.

En este segundo montaje, además, ya se han elegido los conectores a usar, dos BNC para la entrada de audio (X1 y X2) y un Jack hembra estéreo para la salida (KLBRSS3) y el USB de entrada, el cual es un USB hembra tipo b (es el tipo más usado en estos dispositivos).

Se eligieron esos tipos de conectores de entrada porque dan la posibilidad de grabar señales estéreo y porque los previos a los que se va a conectar son los disponibles en el laboratorio, y estos tienen como sistema de conexión conectores BNC, el Jack estéreo hembra es para poder reproducir señales en estéreo (se trata de uno de los tipos de conexión más usados en audio).

No hay colocados pulsadores de volumen y mute porque, tanto en el diseño de la Protoboard, como en el definitivo en la PCB, se dejó la preinstalación hecha por si en un futuro se quieren colocar.

El esquema implementado fue el siguiente:

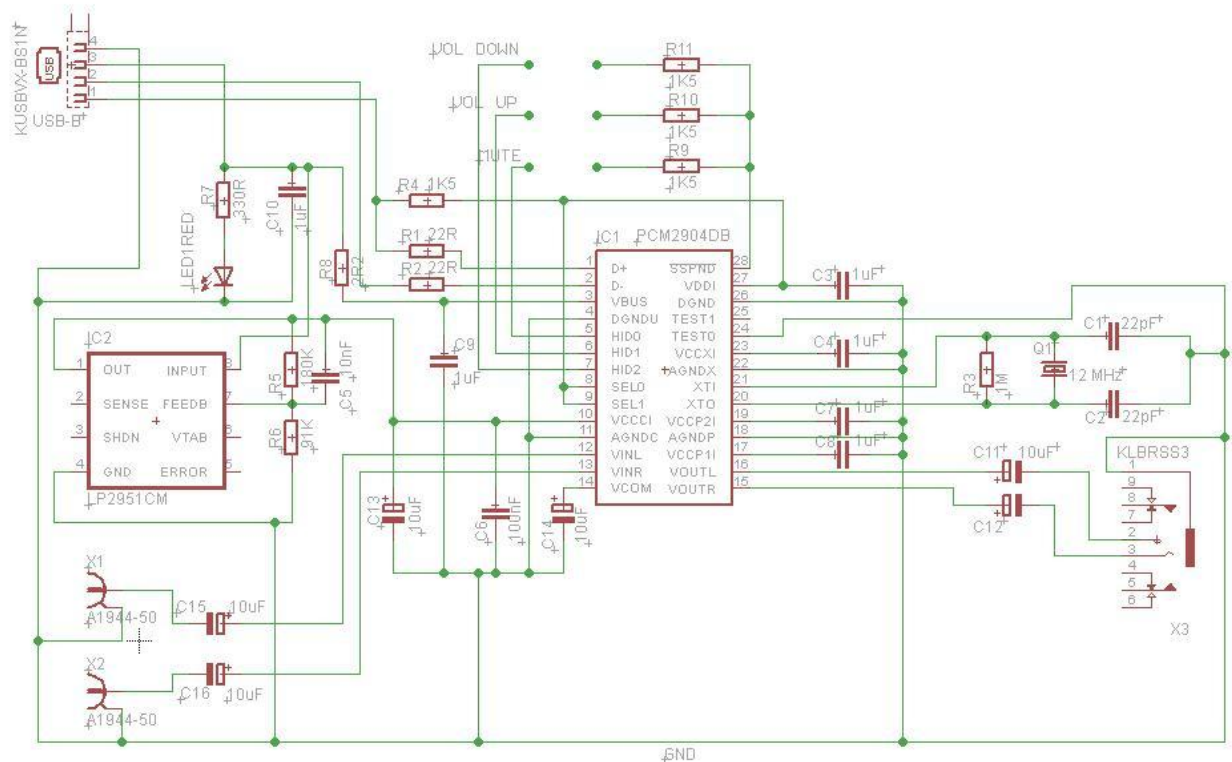


Figura 2.7. Esquema del montaje definitivo de la tarjeta de sonido con el chip

Los dos primeros montajes de la tarjeta (primero siguiendo el esquema de la figura 2.3 y luego el de la 2.7) se realizaron en una Protoboard para comprobar que el circuito funcionaba correctamente.

Antes del proceso de comprobación, había que realizar una serie de pasos para que la tarjeta estuviera lista para ello.

Lo primero es que el ordenador cuente con un sistema operativo compatible con la tarjeta (especificados en el punto 2). Una vez que se cumple este requisito lo siguiente es conectarla al USB del ordenador y comprobar que es detectada (o bien por un aviso en la barra de tareas o bien yendo a dispositivos de sonido, en panel de control y viendo que ha sido elegida como predeterminado tanto en grabación como reproducción.). Si se siguen todos estos pasos y no ha habido ningún problema, ya se puede utilizar la tarjeta como dispositivo de audio.

Se realizaron una serie de comprobaciones en las que se utilizó la tarjeta como dispositivo de grabación (se observó que llegaba la señal correcta a través de una aplicación programada en Matlab) y reprodujera audio procedente del ordenador al que estaba conectada. En la reproducción de audio, se produce distorsión cuando se le aplica un nivel de salida alto, pero con un volumen medio, tiene una calidad buena de reproducción sin llegar a dicha distorsión.

A continuación (figura 2.8) se puede observar el segundo montaje, el cual era ya un prototipo de la placa definitiva que se iba a montar, es decir, se implementó el diseño de la tarjeta de sonido con el estabilizador de tensión integrado (figura 2.7) pero todavía en la Protoboard para comprobar que este funcionaba correctamente.

El montaje quedó de la siguiente manera:

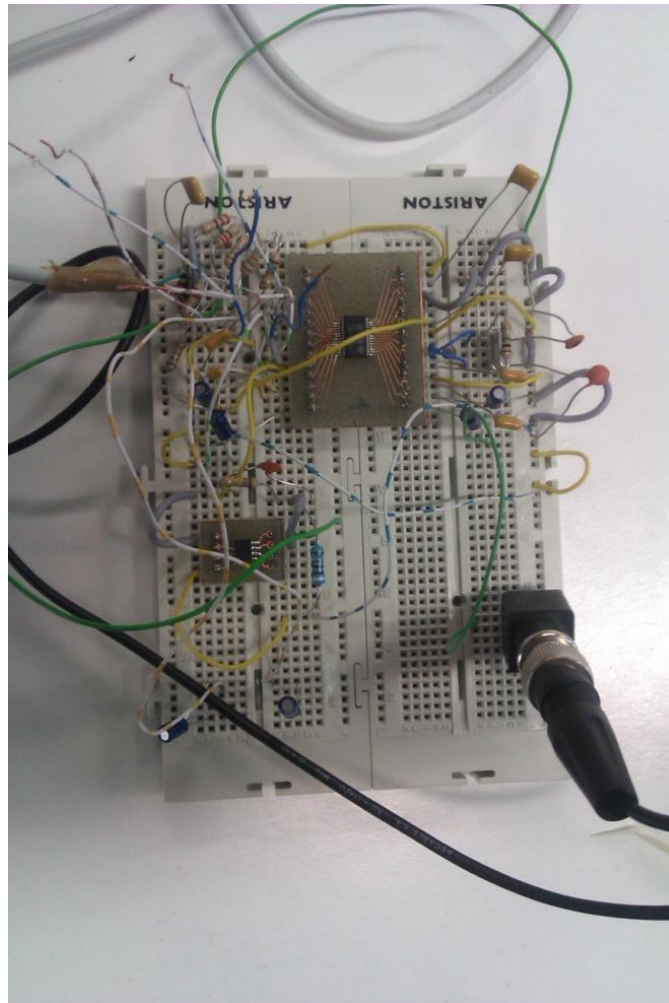


Figura 2.8. Segundo montaje realizado de la tarjeta de sonido sobre la Protoboard ya con el estabilizador de tensión montado.

A esta tarjeta se le pasó el software para obtener la respuesta en frecuencia, en la cual se puede ver que aparecen una serie de armónicos muy pronunciados (figura 2.9). Estos armónicos pueden ser debidos a la cercanía de cables y componentes, produciéndose así interferencias. También se observa que se produce mayor ruido a altas frecuencias, siendo casi imperceptible a bajas frecuencias (por debajo de 2kHz).

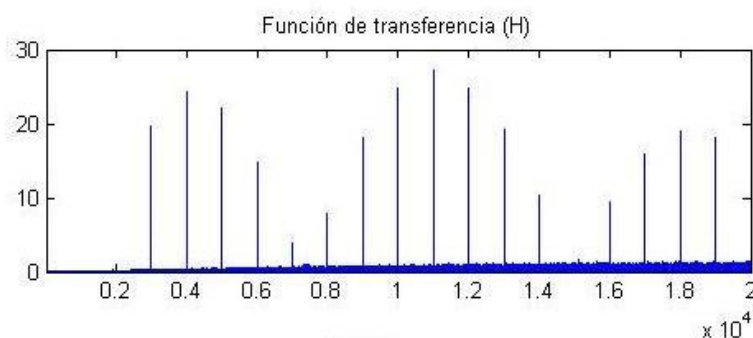


Figura 2.9. Respuesta en frecuencia del montaje en la Protoboard.
El eje y representa una escala arbitraria y el eje x frecuencia

2.2.3 – Tercera implementación.

Por último, y una vez comprobado que este último diseño funcionaba en la Protoboard, se realizó el montaje definitivo sobre una PCB, es decir, una placa de cobre sobre la que se dibujaron con una fresadora las pistas según el esquema de la figura 2.8; de tal manera que, una vez hecha dicha placa, se procedió al montaje mediante soldadura con estaño de los componentes necesarios para este diseño. La placa está compuesta por dos caras; una en la que están todas las pistas de cobre y sobre la que se soldaron los componentes SMD (chip PCM 2904 y estabilizador de tensión) y otra, sin cobre, en la que se insertan los demás componentes (resistencias, condensadores, conectores y puentes) para ser posteriormente soldados en la cara con cobre.

El diseño de esta se llevó a cabo con un programa llamado EAGLE, el cual, da la opción de realizar el circuito de forma esquemática (figura 2.7) y posteriormente a través de ese esquema crear el circuito de la PCB (figura 2.10).

Al utilizar una versión gratuita del programa EAGLE, este tiene varias limitaciones como: limitación en cuanto al tamaño de la PCB, sólo permite realizar circuitos impresos de dos caras y, los diagramas esquemáticos (como el de la figura 2.7) solo pueden constar de una hoja.

Estas limitaciones no influyeron a la hora de realizar esta placa, ya que no hizo falta sobrepasar ninguna de ellas.

En el diseño del esquema, se eligen los componentes (que después se montarán en la PCB) en las librerías que trae instaladas EAGLE (componentes resistivos, conectores, SMD's, relojes y condensadores en este caso) y se van uniendo de acuerdo al esquema que se quiera seguir.

Se hizo el diseño en una capa (salvo la conexión roja referente a otra cara, que se realizó con un cable) porque es un esquema fácil, sin muchos componentes, y porque, a la hora de soldar este tipo de circuitos, es menos problemático al tener todos los componentes (excepto el estabilizador de tensión y el chip PCM2904) en una cara y las soldaduras en otra.

Se eligió el tamaño de 12x8 cm porque al ser el primer montaje en PCB se quería observar bien todos los componentes y las pistas de cobre y, por si en algún momento había algún problema, poder encontrarlo con relativa facilidad al estar todo más separado y ser más visible así como tener mayores facilidades a la hora de soldar. Pero en realidad se pueden hacer diseños con un tamaño mucho más pequeño y que funcionen correctamente.

A continuación (figura 2.10) se puede observar una captura de pantalla de cómo quedó el diseño de la PCB en este programa.

Se hizo a una capa (color azul), salvo un puente (color rojo) que, a la hora de montarla, se haría con un cable por la cara contraria a la azul.

A continuación se muestran algunas imágenes de esos archivos (para hacer la placa, hubo que exportar los archivos en espejo, es decir, al revés de cómo se ven es estas imágenes, para poder soldar los SMD's de acuerdo a las funciones de cada uno de sus terminales):

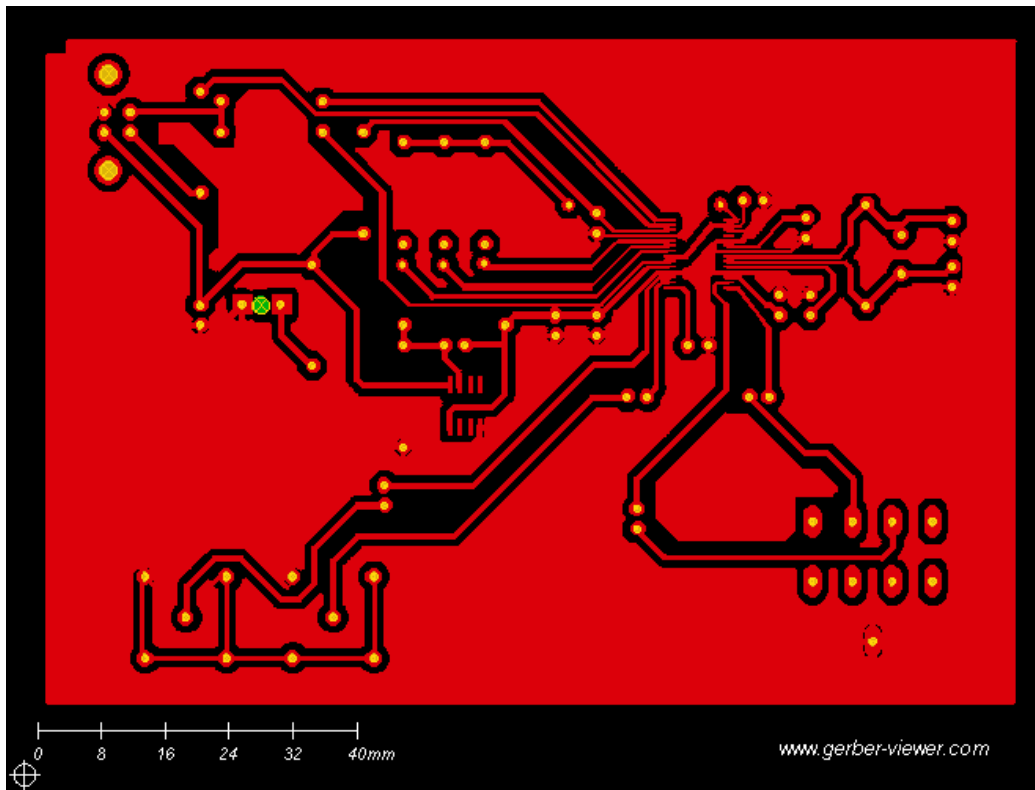


Figura 2.11. Archivo de GERBER en el que se muestra la superficie de cobre (rojo) y los puntos de perforación para insertar los componentes (amarillo).

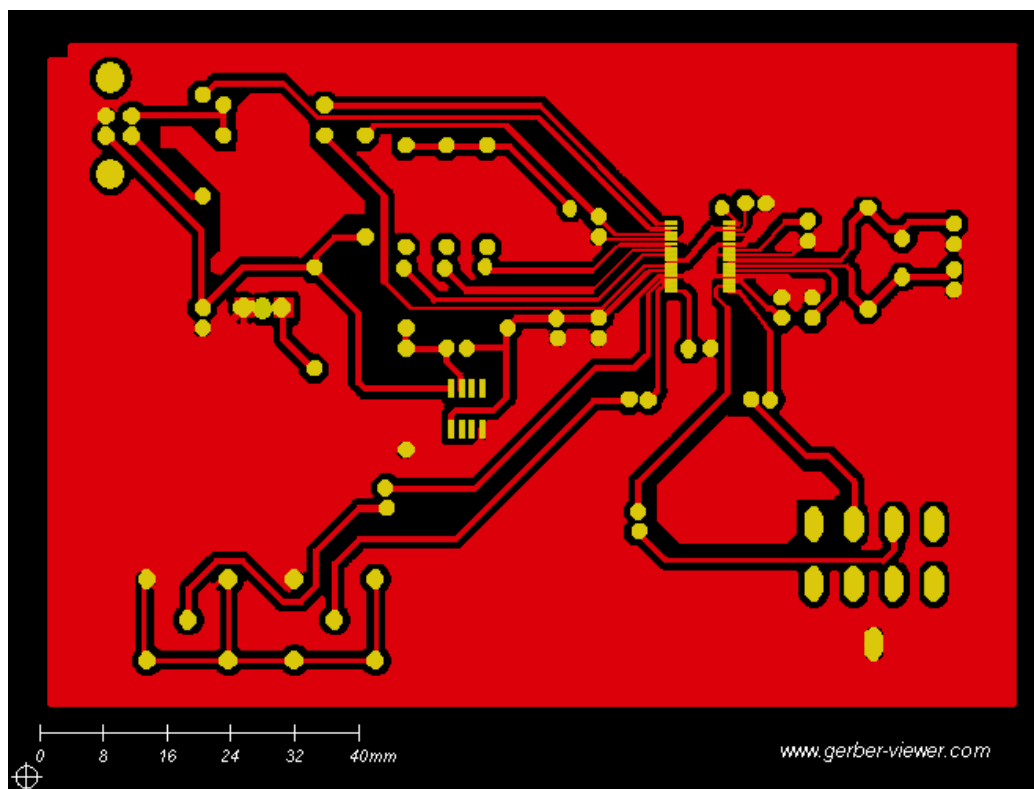


Figura 2.12. Archivo de GERBER en el que se muestra la superficie de cobre (rojo) y los puntos de soldadura (amarillo).

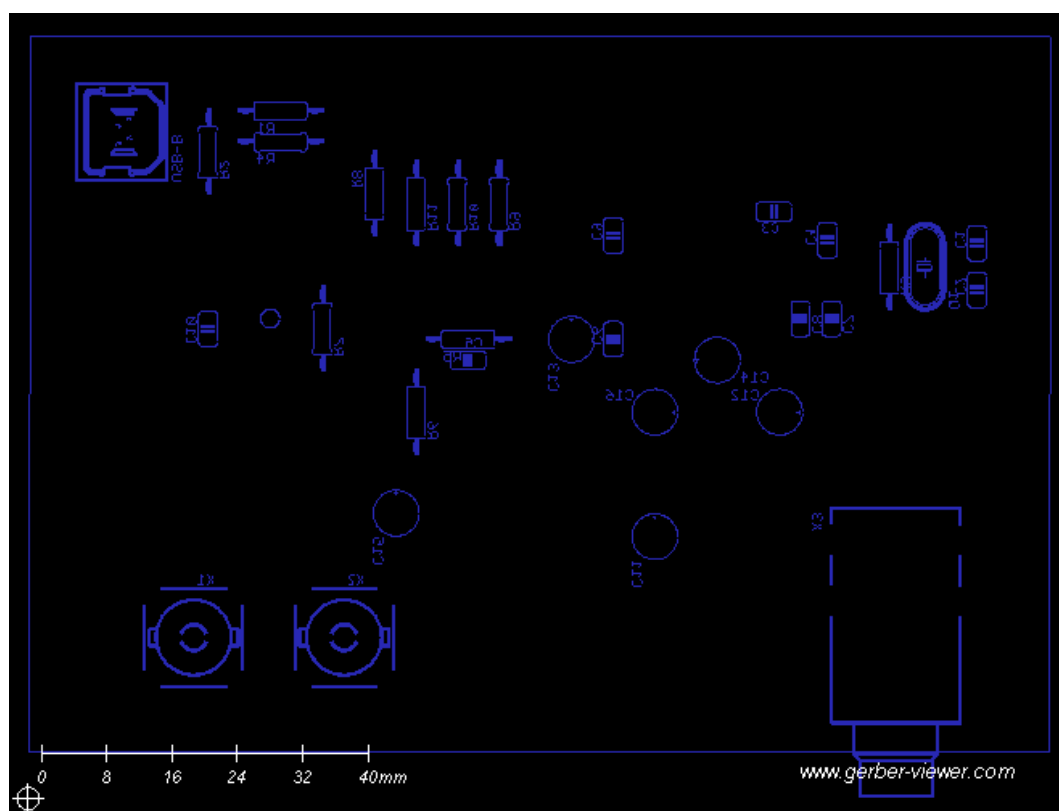


Figura 2.13. Archivo de GERBER en el que se muestra la posición de los componentes en la placa

El último y definitivo montaje físico sobre la PCB quedó de la siguiente manera:



Figura 2.14. Tercer montaje realizado de la tarjeta de sonido sobre la PCB.

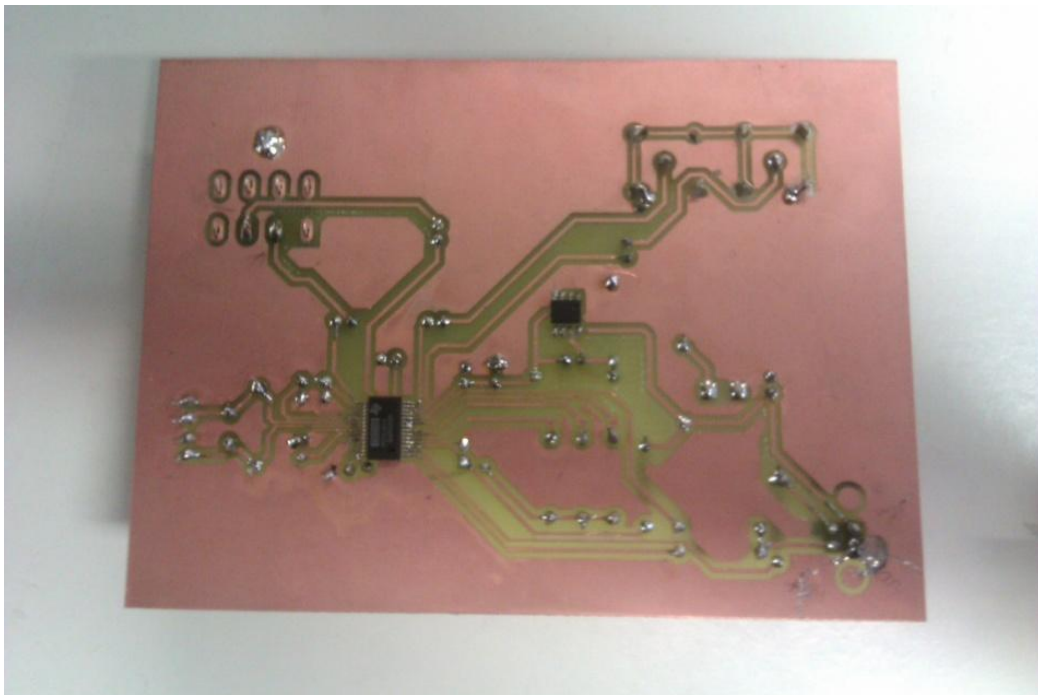


Figura 2.15. Tercer montaje realizado de la tarjeta de sonido sobre la PCB.

Se realizó también la preinstalación para poner en un futuro si se desea dos pulsadores de volumen (VOL UP y VOL DOWN) y otro de MUTE como se puede observar en la siguiente imagen, en la cual se ven las inserciones (marcadas con círculos rojos) donde se montarán dichos componentes.



Figura 2.16. Preinstalación de los pulsadores de volumen y mute realizado en la tarjeta de sonido sobre la PCB.

Esta tarjeta tiene un diseño más complicado de montar que las dos anteriores, ya que hay que soldar varios componentes a la placa, entre ellos los dos SMD's, es decir, el chip integrado PCM2904 y el estabilizador de tensión (para soldar los cuales hubo que pedir ayuda a personas con más experiencia en la soldadura de estos, ya que exige soldaduras muy pequeñas) teniendo cuidado de que el estaño de las soldaduras no generara cortocircuitos en la placa.

Esta implementación tiene problemas de fiabilidad, ya que, al no disponer del USB que se necesitaba, hubo que hacer una adaptación a las inserciones de la placa mediante un cable fabricado para la ocasión, y muchas veces se pierde la conexión entre la tarjeta y el ordenador, pero cuando funciona correctamente, graba y reproduce audio con buena calidad.

2.3 – Previos.

Este dispositivo ha sido descrito con detenimiento en el punto 1.4.9. Una vez que se sabe la función de un previo y lo que es, a continuación se van a explicar las posibilidades de acoplarlo a la tarjeta de sonido implementada.

Una opción es montar el previo entero, el cual consta de una parte que proporciona la alimentación phantom (necesaria para la polarización de micrófonos de condensador) y otra que es el preamplificador (figura 2.17). O, primero, se puede montar la fuente de alimentación phantom, que posteriormente es acoplada a un preamplificador (figura 2.18), en el que está el preamplificador y, en la parte superior, la conexión a la fuente de alimentación phantom de tal forma que, este conjunto, forma el previo de la tarjeta.

Se eligió estos porque eran unos diseños que, a la hora de montar, no eran difíciles, ya que son esquemas sencillos y sin muchos componentes.

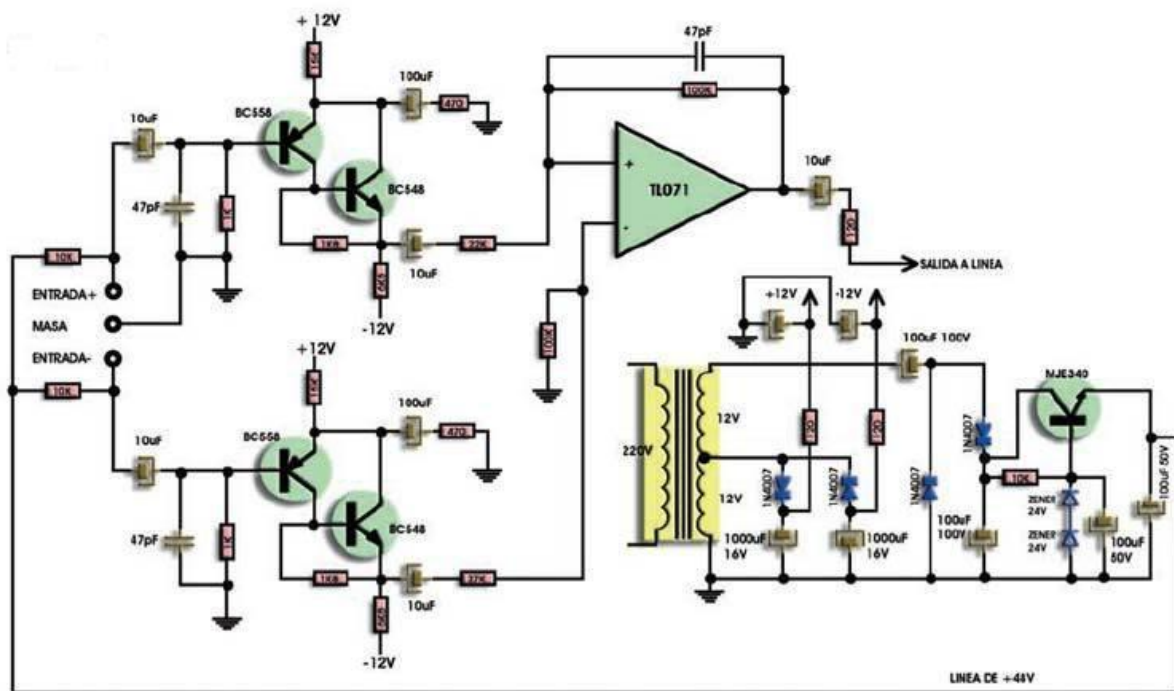


Figura 2.17. Esquema de un previo completo

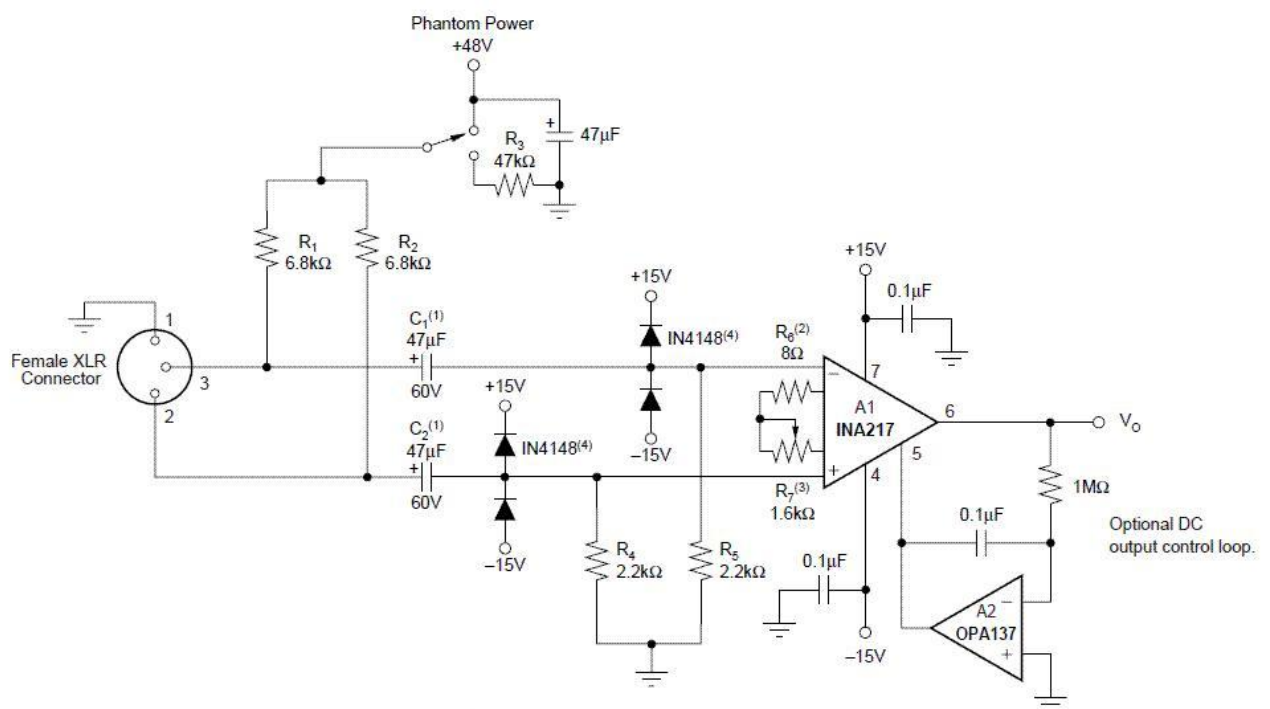


Figura 2.18. Esquema de un previo al que le llega la alimentación phantom de otro dispositivo

Finalmente no se montaron estos previos por cuestión de tiempo, ya que aunque son de fácil montaje, esto conllevaba un tiempo extra en la realización del proyecto. Otra razón fue que se disponía de los previos Norsonic que hay en el laboratorio, los cuales iban a proporcionar una calidad superior a la que se hubiera obtenido al construir los previos en el laboratorio.

3.-EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA.

El proceso de obtención de los parámetros para la evaluación de las características de la tarjeta, se ha llevado a cabo conectando los dispositivos necesarios (generadores de funciones o generador de ruido rosa, según que parámetro se esté analizando) a la tarjeta y, posteriormente, y una vez que se comprobó que llegaba señal correctamente a la tarjeta mediante el uso del osciloscopio, se ejecutó el software pertinente para la obtención de cada parámetro a analizar. Estos parámetros están definidos más adelante (Apartado 5). Todas las señales fueron filtradas antes de procesarlas para eliminar componentes no deseados. Las características a evaluar son:

3.1 - SNR (Relación señal-ruido).

La relación señal ruido (S/N) es la diferencia entre el nivel de la señal y el nivel de ruido. Se entiende como ruido cualquier señal no deseada, en este caso, la señal eléctrica no deseada que circula por el interior de un equipo electrónico. El ruido se mide sin ninguna señal de entrada al equipo.

Se habla de relación señal ruido (S/N) porque el nivel de ruido es más o menos perjudicial en función de cual sea el nivel de la señal. La S/N se calcula como la diferencia entre el nivel de la señal cuando el aparato funciona a nivel nominal (en este caso se consideró nivel nominal cuando la señal enviada del generador de ruido rosa a la tarjeta alcanzaba en el osciloscopio un nivel que se consideraba correcto para el estudio) de trabajo y el nivel de ruido cuando, a ese mismo nivel de trabajo, no se introduce señal. En un amplificador, cuanto más se gire el mando de potencia, más se amplificará la señal y en la misma medida se amplificará el ruido.

En el mejor de los casos se puede presentar la S/N como unos valores del tipo respuesta en frecuencia, en donde se especifica el valor de la relación para cada una de las bandas de octava introduciendo como señal de entrada ruido rosa, como se ha hecho en este caso. Otra opción, que en este caso no se utilizó es dar la relación señal ruido para una frecuencia de 1 kHz. Aunque también se puede dar un valor para toda la banda de frecuencia de trabajo del aparato; en este caso se entiende que el valor S/N es el menor para toda la banda, es decir, el más desfavorable.

A la salida de la tarjeta de sonido PCM2904 en este caso, se mide el nivel de señal de ruido rosa. Midiendo tanto la señal (S) como el ruido (N), y, calculando $10 \times \log(S)$ y $10 \times \log(N)$, se obtiene el valor de cada señal en dB, realizándose posteriormente la resta de estos dos valores para obtener la relación S/N final en decibelios, que es como normalmente se da. La calidad de un equipo se mide también mediante este parámetro, cuanto mayor sea el valor de S/N mayor calidad tendrá el mismo.

La existencia de ruido es inevitable en cualquier equipo electrónico. Una electrónica refinada disminuye el nivel de ruido, puede disminuirlo tanto que no sea medible por ser comparable al ruido del equipo de medida, pero siempre existe ruido. Algo parecido pasa con el sonido en el ambiente, es decir, por muchas condiciones de silencio que se den, siempre habrá ruido que será audible directamente o mediante métodos de amplificación. La fuente principal de ruido suele ser la fuente de alimentación del propio equipo.

El proceso de medida se llevó a cabo de la siguiente manera: Se introdujo ruido rosa a la tarjeta a través de un generador de ruido rosa externo. Posteriormente se comprobó que llegaba un nivel de señal correcto a esta a través de una aplicación desarrollada en Matlab (se utilizó este mismo nivel para la caracterización de todas las tarjetas), con el objetivo de introducir a todas las tarjetas una señal con el mismo nivel, para lo cual, hubo que ajustar la ganancia mediante los potenciómetros de las tarjetas comerciales (ya que la tarjeta de sonido PCM2904 no dispone de ellos), obteniendo así el mismo nivel en la aplicación.

Una vez que se tenía este nivel, y mediante el software programado también en Matlab, el estudio se llevó a cabo por bandas de octava utilizando un banco de filtros para seleccionar la banda de octava en la que interesaba medir el parámetro. Se midió tanto la señal que llegaba a la tarjeta como el ruido, pasando posteriormente las dos medidas a dB como se explica anteriormente y realizando la resta entre ambas y así obtener la SNR final. Dando los resultados que se muestran a continuación:

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
38.86	40.00	38.75	37.59	36.47	34.84	33.01	30.07

Tabla 4. Resultados del parámetro SNR en la tarjeta

Este parámetro ha dado unos valores bajos en la tarjeta, es decir, que el ruido tiene más influencia sobre la señal. La causa de este hecho puede ser que la señal de entrada no tenga la amplitud suficiente.

3.2 - THD (Distorsión armónica total).

Esta distorsión se produce por la aparición de armónicos de la señal original. Un armónico es una señal de frecuencia múltiplo de otro original. Si a la entrada tenemos un tono puro de frecuencia 1 kHz, sus armónicos aparecerán como tonos puros de frecuencia 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz... cuando hay distorsión armónica, los armónicos simplemente aparecen pese a no ser deseados. En este caso se han sumado los armónicos de la señal hasta llegar a 20kHz, frecuencia que marca el límite superior del rango de audición del oído humano.

Cuanto mayor nivel tienen los armónicos, mayor es la distorsión armónica y peor calidad tendrá el equipo. Los fabricantes de equipos suelen facilitar este dato ya que es de los más relevantes.

La distorsión armónica o THD se mide en porcentaje (%). El porcentaje representa la parte total de la energía a la salida que pertenece a los armónicos, es decir, qué porcentaje es distorsión.

El proceso de medida se llevó a cabo de la siguiente manera: Mediante un generador de funciones, se introdujo una señal de 1 kHz en el osciloscopio del laboratorio y se fue variando la amplitud de esta señal hasta tener 1V (señal que se utilizaría posteriormente en todas las tarjetas). Una vez hecho esto, lo siguiente fue introducir esta señal a la tarjeta de sonido y analizar este parámetro con el software programado para ello, encontrando todos los armónicos de la señal y sumando su potencia para posteriormente hallar el porcentaje de esta para obtener el resultado final.

Este parámetro da en la tarjeta un resultado de 0.0208%, lo que quiere decir que, esta tarjeta de sonido, produce poca distorsión debida a armónicos no deseados, ya que, al introducirse la señal de 1kHz a la tarjeta, la amplitud de los armónicos producidos, no es lo suficientemente elevada como para producir una distorsión notable.

3.3 - THD+N (Distorsión armónica relativa).

THD + N significa distorsión armónica total más ruido. Esta medida es mucho más común y más comparable entre los dispositivos. La medición de THD suma el total de todos los productos de distorsión. Se suma toda esa energía de los armónicos en un valor "distorsión armónica total."

El "ruido" de un dispositivo es toda la energía que sale del dispositivo que no está relacionado con la señal de entrada. Las fuentes de ruido pueden ser, por ejemplo, el zumbido de la fuente de alimentación, la interferencia de frecuencias de radio, el ruido de conmutación o, incluso, el ruido térmico de los componentes del propio circuito.

El nivel THD + N se expresa en voltios rms, o en una unidad absoluta relacionada. El THD + N es la medida más común, ya que normalmente no se tiene en cuenta el nivel de distorsión absoluta, sino el nivel relativo de los productos de distorsión en comparación con el total de la señal. Generalmente, como en este caso, este nivel se da en tanto por ciento (%).

El proceso de medida se llevó a cabo de la siguiente manera: Mediante un generador de funciones, se introdujo una señal de 1 kHz en el osciloscopio del laboratorio y se fue variando la amplitud de esta señal hasta tener 1V (señal que se utilizaría posteriormente en todas las tarjetas). Una vez hecho esto, lo siguiente fue introducir esta señal a la tarjeta de sonido, grabar esta señal y después el ruido producido por la tarjeta son introducir ninguna señal y analizar estos parámetros con el software programado para ello, encontrando todos los armónicos de la señal y sumando su potencia, realizando el mismo proceso para el ruido para posteriormente sumar ambos y hallar el porcentaje para obtener el resultado final.

Este parámetro da en la tarjeta un resultado de 0.0343%. Este valor al ser bajo, indica que la suma de los armónicos más el ruido producido por la propia tarjeta no tiene un valor suficientemente elevado como para ser percibido.

3.4 – Respuesta en frecuencia (Mediante la generación de un sweep).

Se llama respuesta en frecuencia al comportamiento de un dispositivo de audio frente a las distintas frecuencias que componen el espectro de audio (20 a 20.000 Hz). Todos los dispositivos de audio cumplen una función determinada, los micrófonos recogen vibraciones acústicas y las convierten en señales eléctricas. Los altavoces convierten señales eléctricas en vibraciones acústicas. Todos los dispositivos manejan frecuencias de audio, pero no reaccionan igual ante todas las frecuencias.

De igual forma que el oído humano no escucha igual todas las frecuencias, los micrófonos tampoco, ni los amplificadores trabajan igual con todas estas, ni los altavoces son capaces de reproducir todas las frecuencias por igual. Esta última es la

razón por la que en la mayoría de los equipos domésticos, hay por lo menos dos altavoces distintos por caja. Uno para reproducir las frecuencias graves y otro para reproducir las frecuencias altas.

El caso más favorable de respuesta en frecuencia sería una línea recta que cubra todo el espectro. En este caso hablaríamos de respuesta en frecuencia plana. Como esto es imposible, se suele hablar de la ‘zona de respuesta plana’, aunque realmente se trata de una aproximación.

Estas variaciones de respuesta conforme varía las frecuencia se miden en dB (decibelios) y se pueden representar gráficamente.

El proceso de medida se llevó a cabo de la siguiente manera: Se conectaron la entrada y la salida de la tarjeta al ordenador. Una vez hecho esto se ejecutó el software, el cual envía un sweep (función armónica de frecuencia creciente, bien lineal o logarítmica como en este caso) a la tarjeta y devuelve la gráfica de la respuesta en frecuencia de la tarjeta con la función de transferencia y la función de transferencia filtrada.

El resultado obtenido se puede observar en la siguiente gráfica:

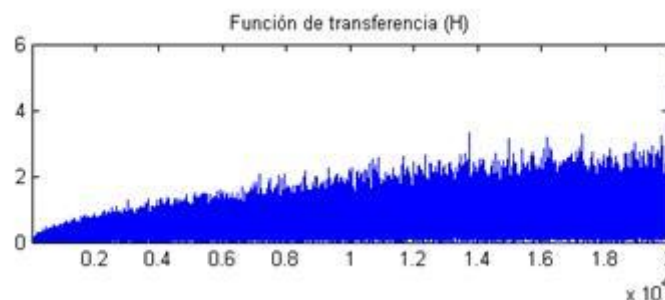


Figura 3.1. Respuesta en frecuencia de la tarjeta con el chip PCM2904
El eje y representa una escala arbitraria y el eje x frecuencia

Hay que destacar que el eje de amplitud de la PCM2904 es demasiado pequeño en proporción a la señal, por lo que da la sensación de que produce mucho ruido.

3.5 - IMD (Distorsión de intermodulación).

Esta distorsión es debida a que varias frecuencias pertenecientes a una señal interactúan dentro del aparato generando unas terceras no deseadas. Uno de los métodos de medida es el siguiente: se introducen dos tonos puros (uno de 250 Hz y otro de 8 kHz y este último con un voltaje de amplitud la cuarta parte que el primero) y se mide el voltaje de las frecuencias de intermodulación a la salida. Las frecuencias resultantes de la intermodulación siempre aparecen en torno a la frecuencia más alta y separada de ella por múltiplos de la frecuencia más baja.

En este caso las frecuencias de intermodulación aparecen en torno a la frecuencia de 8 kHz. y con distancias en frecuencia de 250 Hz., 500 Hz., 750 Hz...es decir, a frecuencias $8\text{ k} \pm n \times 250$. Donde ‘n’ toma valores de 1, 2, 3...

La distorsión de intermodulación se mide en porcentaje (%).

Para la realización de esta medición se utilizaron dos generadores de funciones y un osciloscopio del laboratorio. El proceso fue el siguiente: Conectando cada uno de los generadores de funciones al osciloscopio se ajustaron las frecuencias y amplitudes pertinentes como se indica anteriormente, sin dar mucha amplitud para no saturar el chip (estas señales se aplicarían posteriormente a todas las tarjetas). Una vez hecho esto se conectaron estos dos generadores a las entradas de la tarjeta y se ejecutó el programa. Este analiza las señales procedentes de los generadores, obteniendo los voltajes de las señales de intermodulación y dando como resultado el porcentaje de los productos de intermodulación.

Este parámetro da en la tarjeta un resultado de 0.53%. Este, es un valor alto, lo que quiere decir que se produce una interferencia relativamente alta de unas frecuencias con otras dando lugar a terceras no deseadas. Este resultado no es bueno, ya que al realizar medidas de acústica en las que intervengan varias frecuencias, puede dar lugar a resultados erróneos al producirse interferencia entre frecuencias.

3.6 - Crosstalk (Diafonía).

Este parámetro también se puede definir como ‘separación entre canales’. Este efecto perjudicial se da únicamente en los equipos con más de un canal. Consiste en que la salida de un canal, se obtiene parte de la señal que está entrando al otro. Debido a la cercanía de la electrónica que compone cada canal, las inducciones magnéticas y otros fenómenos magnetoelectrónicos. Si a la entrada del canal L de un equipo se introduce una señal, parte de esa señal también aparecerá a la salida del canal R, al que no se le introdujo ninguna.

La diafonía suele aumentar conforme aumenta la frecuencia, es decir, a mayor frecuencia, menor separación entre canales.

Este es un parámetro típico a tener en cuenta cuando se habla de amplificadores o etapas de potencia, ya que estos equipos manejan elevadas tensiones e intensidades que provocan fuertes inducciones. En el resto de los equipos estéreo, la diafonía no suele alcanzar valores relevantes.

La diafonía o separación entre canales, se mide en dB (decibelios). Se suelen dar los valores para unas frecuencias concretas significativas, típicamente 250 Hz., 1 kHz. y 10 kHz.

El proceso de medida fue el siguiente: Mediante un generador de funciones y un osciloscopio se fueron estableciendo las frecuencias y amplitudes (no muy altas para no saturar la tarjeta) necesarias para la medición de este parámetro (se aplicaría el mismo proceso con los mismos valores para todas las tarjetas). Cada vez que se establecía una frecuencia y amplitud se conectaba el generador de funciones a una de las entradas de la tarjeta y se ejecutaba el software, el cual grababa la señal en estéreo y después la separaba en canal L y R. Una vez que se tenían los dos canales por separado, se filtraron, se halló la potencia posteriormente pasándola a dB y se hacía la resta entre los dos canales (R-L), obteniendo así la siguiente tabla de resultados:

2500 Hz	1000 Hz	10000 Hz
-35.91	-34.70	-26.41

Tabla 5. Resultados del parámetro Crosstalk en la tarjeta

Los resultados del parámetro Crosstalk dados por la tarjeta PCM 2904 tienen unos valores bajos, lo que quiere decir que se obtiene parte de la señal de un canal a la salida del otro más de lo deseable. El que estos valores sean tan bajos, no es un buen resultado a la hora de realizar mediciones, con más de un canal, acústicas con la tarjeta, porque puede introducirse parte de la señal que se esté grabando en un canal en el otro y alterar los resultados del parámetro que se esté analizando.

4.- COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS CON TARJETAS COMERCIALES.

Se van a comparar las características de la tarjeta con el integrado PCM2904 con las de tarjetas comerciales de venta en el mercado para observar si la calidad que ofrece es comparable a la de tarjetas comerciales.

Hay que tener en cuenta que se están comparando tarjetas comerciales semiprofesionales con un precio alrededor de los 100 euros cada una, con una tarjeta hecha a mano con un presupuesto alrededor de los 15 euros. Las tarjetas comerciales con las que se compararon los resultados fueron elegidas porque eran las que se tenían disponibles en ese momento en el laboratorio y así se agilizaba el proceso de medida y comparación.

PARÁMETROS / TARJETAS	THD	THD + n	IMD	Crosstalk		
				250 Hz	1000 Hz	10000 Hz
ALESIS io2 EXPRESS	0.0218%	0.0258%	0.15%	-41.2580	-41.2726	-40.9945
Line 6 Tone Port UX1	0.0105%	0.0247%	0.22%	-41.4353	-41.4125	-41.2856
PCM 2904	0.0208%	0.0343%	0.53%	-35.91	-34.70	-26.41

Tabla 6. Comparación de resultados entre la tarjeta PCM2904 y tarjetas comerciales

PARÁMETROS / TARJETAS	SNR (dB)							
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	16000 Hz
ALESIS io2 EXPRESS	-	44.63	43.34	40.98	39.54	38.77	37.03	37.02
Line 6 Tone Port UX1	-	46.61	46.24	44.51	43.49	41.49	39.24	36.12
PCM 2904	38.86	40.02	38.75	37.59	36.47	34.84	33.01	30.07

Tabla 7. Comparación de resultados entre la tarjeta PCM2904 y tarjetas comerciales

De los datos observados en las tablas se puede obtener el siguiente análisis:

En lo referente al parámetro THD, da un valor intermedio entre las otras dos tarjetas, es decir, en este parámetro, se ha conseguido un resultado mejor de distorsión armónica del que ofrece una tarjeta de uso comercial.

Se puede decir que la tarjeta tiene más ruido eléctrico (de fondo) que las otras dos, resultado claramente apreciable tanto en el parámetro THD+N.

En la SNR ocurre lo mismo que en la THD+N, es decir, si se tiene la misma señal, y la SNR es menor, esto indica que, el ruido producido por la tarjeta, es mayor en comparación con el producido por las otras dos tarjetas.

En cuanto al parámetro Crosstalk, este ofrece unos resultados claramente menores, lo que significa que, al contrario que las otras dos tarjetas, en esta se percibe mucha más

cantidad de señal en un canal debido al otro. Esto puede ocurrir debido al diseño de la PCB por la cercanía entre las pistas de cada uno de los canales de entrada.

El parámetro IMD es significativamente superior en la tarjeta PCM2904, lo que quiere decir que se produce más distorsión de intermodulación que en las demás, es decir, que varias frecuencias pertenecientes a una señal interactúan dentro de la tarjeta generando terceras no deseadas con un nivel superior al que se produce en tarjetas comerciales.

RESPUESTA EN FRECUENCIA

- LINE6 Tone Port UX1

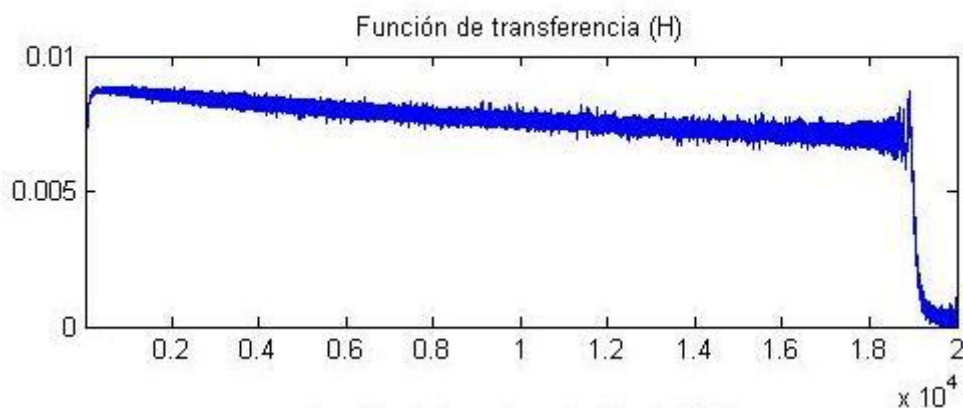


Figura 4.1. Respuesta en frecuencia de la tarjeta Line6 Tone Port UX1
El eje y representa una escala arbitraria y el eje x frecuencia

- ALESIS io2 EXPRESS

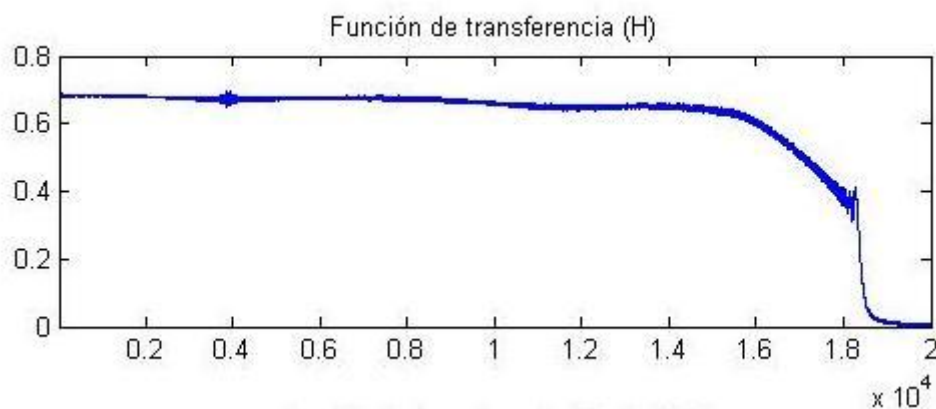


Figura 4.2. Respuesta en frecuencia de la tarjeta ALESIS io2 EXPRESS
El eje y representa una escala arbitraria y el eje x frecuencia

- PCM 2904

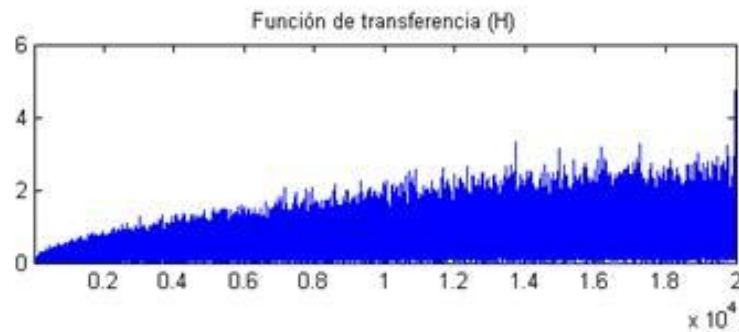


Figura 4.3. Respuesta en frecuencia de la tarjeta con el chip PCM2904
El eje y representa una escala arbitraria y el eje x frecuencia

Analizando las gráficas de respuesta en frecuencia, y teniendo en cuenta el problema indicado en el punto 3.4 sobre la gráfica de la PCM2904, comparando las gráficas con las demás, la PCM2904 es la que ofrece una respuesta más plana a lo largo de todo el rango de frecuencias, ya que tanto la Line6 como la ALESIS muestran una caída de la señal a altas frecuencias.

5 – DESARROLLO DE SOFTWARE.

Se desarrolló un software para la caracterización de la tarjeta, a su vez se diseñó un sistema, a partir de dicho software, que permitiese caracterizar bajo las mismas condiciones todas las tarjetas que se iban a estudiar.

Todo el software del proyecto se desarrolló con Matlab, tanto los programas para la caracterización de la tarjeta como el software que “simula” un osciloscopio (sólo válido para señales dentro del espectro auditivo (20-20000 Hz)), la escala de amplitud de este no está normalizada, con lo cual es una escala arbitraria, con un voltaje máximo de 6.5 voltios, a partir del cual, se podría dañar el equipo.

Los programas para la obtención de las características de la tarjeta se utilizaron en conjunto con dispositivos externos, como se ha explicado en el apartado 3.

En la programación de este software no se han seguido al pie de la letra los requerimientos y condiciones que dicta la normativa, por lo que se han testado las 3 tarjetas con los programas que se muestran a continuación con el fin de obtener, como se ha explicado anteriormente, resultados lo más homogéneos posibles al usar el mismo sistema de caracterización.

Lo primero que se realizó fueron los programas con los que se obtuvieron las características de la tarjeta y se compararon con las del resto, observándose en este apartado los diagramas de flujo del procesado de la señal de estos programas (códigos en el anexo I).

Todas las señales introducidas a la tarjeta para su caracterización fueron a través de dispositivos externos, utilizándose un generador de ruido rosa para la SNR y generadores de funciones para el resto de parámetros exceptuando la respuesta en frecuencia, para la cual se introdujo una señal (sweep) generada por el propio Matlab.

El realizar la caracterización de la tarjeta PCM2904 y las otras dos a la hora de obtener sus características para compararlas fue porque es un método muy similar a como se hace en las tarjetas comerciales para hacer las hojas de características correspondientes.

5.1 - SNR (relación señal-ruido).

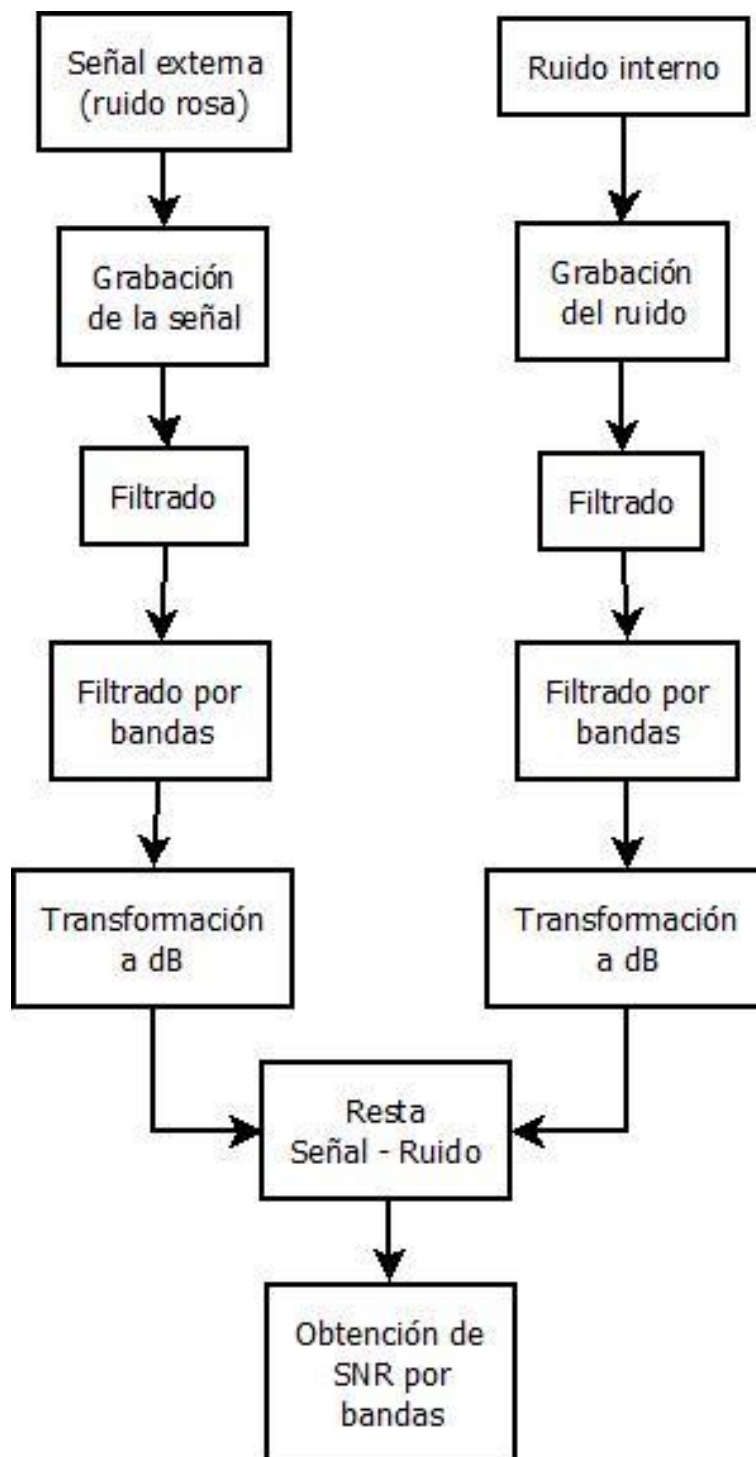


Figura 5.1. Diagrama de flujo del programa para la SNR.

5.2 - THD (Distorsión armónica total).



Figura 5.2. Diagrama de flujo del programa para la THD.

5.3 - THD+N (Distorsión armónica relativa).

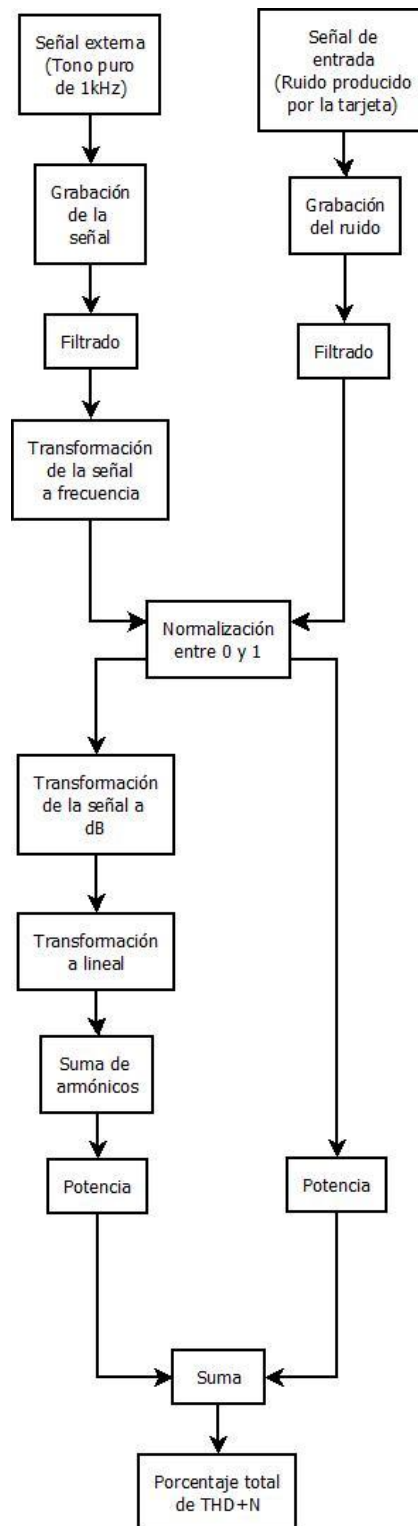


Figura 5.3. Diagrama de flujo del programa para la THD+N.

5.4 - IMD (Distorsión de intermodulación).

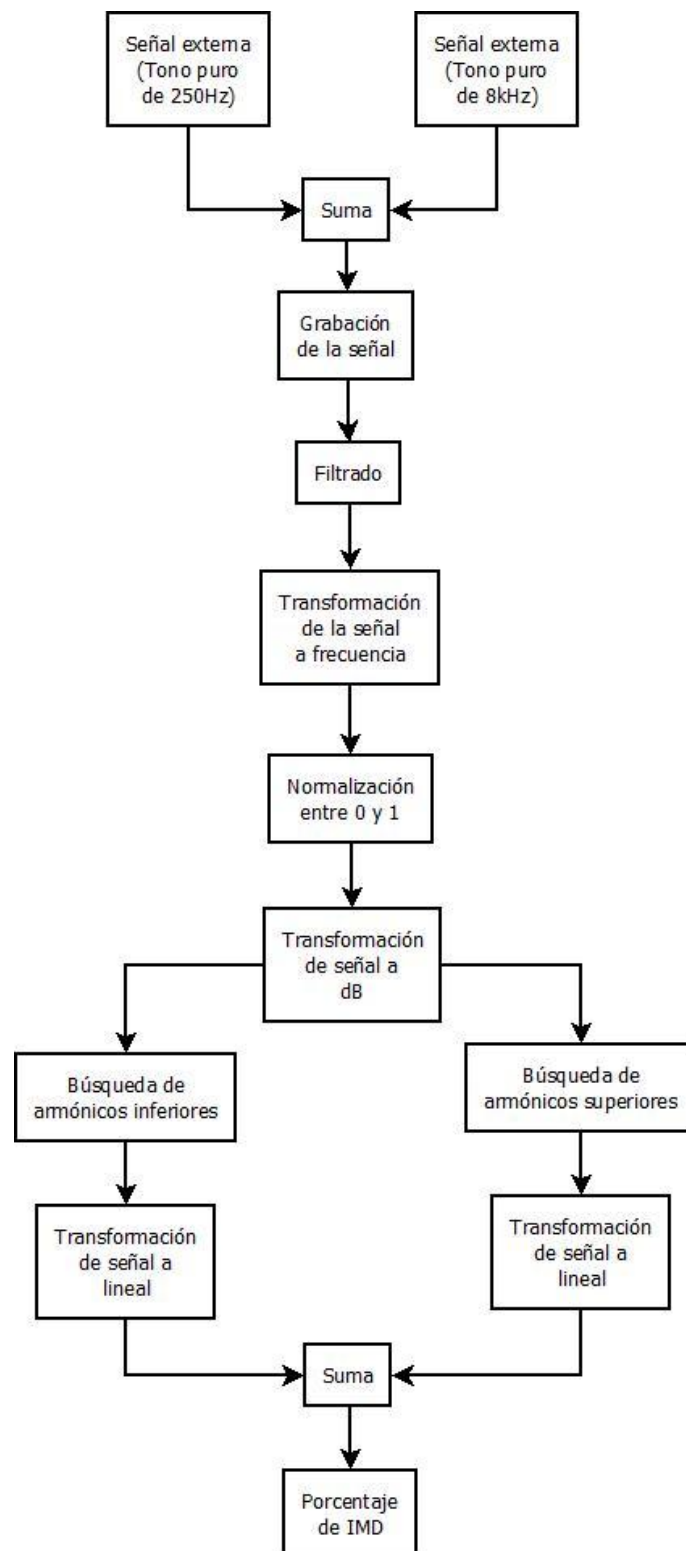


Figura 5.4. Diagrama de flujo del programa para la IMD.

5.5 – Crosstalk (Diafonía).

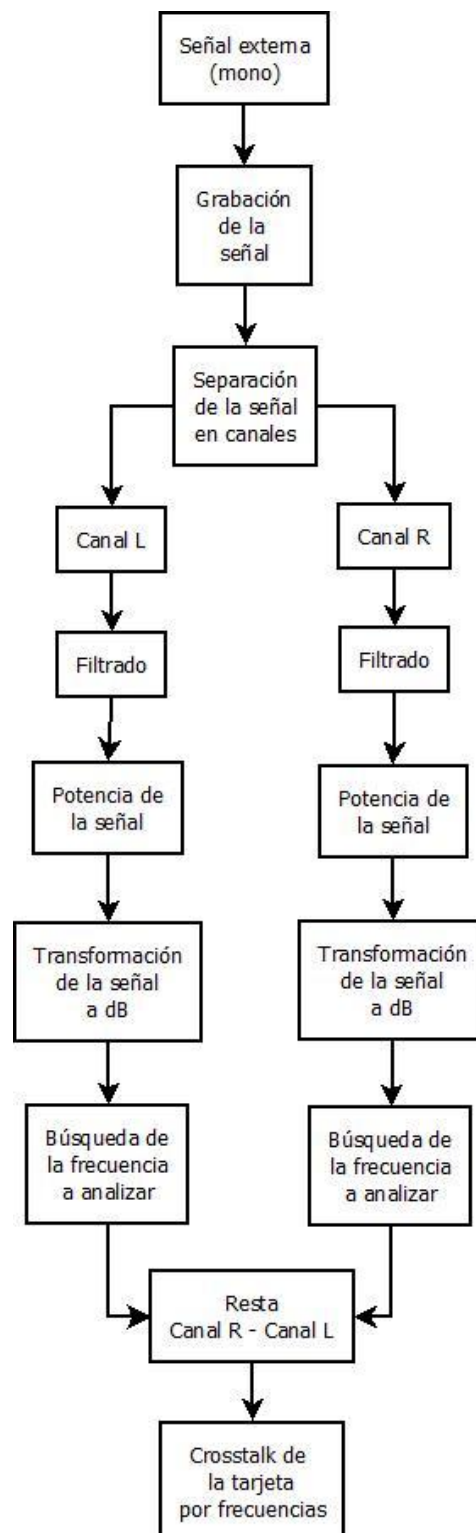


Figura 5.5. Diagrama de flujo del programa para el Crosstalk.

5.6 - Respuesta en frecuencia (mediante generación de un sweep).

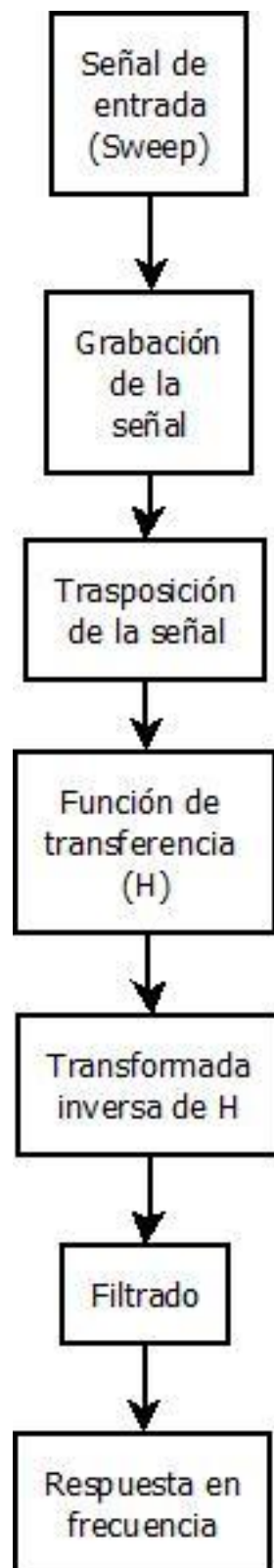


Figura 5.5. Diagrama de flujo del programa para la respuesta en frecuencia.

6 – VALIDACIÓN DE LA TARJETA: OSCILOSCOPIO, MEDIDA DE GRABACIÓN BINAURAL, MONOAURAL Y OBTENCIÓN DE IR (INTEGRACIÓN EN ARETO).

6.1 – Osciloscopio.

La idea por la que se creó una aplicación en Matlab que simule un osciloscopio y un analizador de espectros, fue la de poder, entre otras cosas, calibrar la tarjeta a la hora de realizar la caracterización de esta y, poder introducir en todos los dispositivos los mismos niveles de señal para realizar las mediciones, el cual, realiza las mediciones de niveles de señal en tiempo real.

Este osciloscopio utiliza la librería ‘playrec’. Esto es una utilidad de Matlab que proporciona acceso sencillo y versátil a las tarjetas de sonido que usan ‘Portaudio’ (será definido posteriormente). Es una librería libre de audio I/O de código abierto. Puede ser usada en diferentes plataformas (Windows, Macintosh, Unix) y accede a la tarjeta de sonido mediante diferentes host API incluyendo ASIO, WMME y DirectSound en Windows.

Entre las principales características de playrec se encuentran: No bloqueo a la tarjeta de sonido (todas las muestras son almacenadas, por lo que Matlab puede continuar con otros procesos mientras se graba o reproduce), grabación y reproducción continua sin problemas técnicos (todas las muestras de salida nuevas se añaden automáticamente a las muestras restantes), configuración mínima (se puede obtener de forma muy sencilla una lista con los dispositivos disponibles), sin restricciones impuestas en el recuento de muestras (no se impone ningún límite para restringir el número mínimo o máximo de muestras que se pueden pasar a la aplicación en un momento dado, las únicas restricciones son las debidas a las limitaciones en la memoria, o capacidad de procesamiento), soporte de tarjetas multicanal (simplifica el trabajo con tarjetas de sonido con cualquier número de canales) y soporte de múltiples plataformas y host API (mediante el uso de PortAudio para acceder a la tarjeta de sonido, Playrec debería funcionar en todas las plataformas y con todas las API de host que soporta PortAudio).

En lo referente al PortAudio se puede definir como una fuente, multiplataforma y de código abierto y librería de audio I / O. Te permite escribir programas sencillos de audio en 'C' o C + + que compila y ejecuta en muchas plataformas, incluyendo Windows, Macintosh OS X y Unix (OSS / ALSA). Su objetivo es promover el intercambio de audio entre los desarrolladores de software en diferentes plataformas. Muchas aplicaciones utilizan PortAudio para Audio I / O.

PortAudio proporciona una API muy simple para grabar y/o reproducir sonido con una función de callback de llamada simple o de una interfaz de bloqueo de lectura / escritura. Se incluyen programas de ejemplo como reproducción de ondas sinusoidales, entrada de procesamiento de audio (guitarra fuzz), grabación y reproducción de audio, la lista de dispositivos de audio disponibles, etc

6.2 – Interfaz.

Este osciloscopio cuenta con una interfaz gráfica en la que el usuario dispone de las siguientes funcionalidades:

- (1) Puede seleccionar el dispositivo de grabación de su ordenador que quiere utilizar.
- (2) Botón de encendido ('ON').
- (3) Botón de reset ('OFF').
- (4) Botón para cerrar el osciloscopio ('Apagar').
- (5) Ventana con la representación temporal de la señal.
- (6) Ventana con la representación frecuencial de la señal.
- (7) Elección de la amplitud máxima que quiere que tenga la ventana de la representación en frecuencia.
- (8) Elección de la frecuencia de muestreo con la que quiere que el osciloscopio vaya registrando la señal, cuyos valores son 32 kHz, 44.1 kHz y 48 kHz.

Hay que tener en cuenta también que los ejes de amplitudes de ambas gráficas son arbitrarios, ya que están sin calibrar, aunque cuando fue usado para fijar las amplitudes de medida de las señales se tuvo en cuenta siempre el mismo valor dado por este.

Una opción que se podría haber incluido pero por tiempo no fue posible es un popup menú que dejara elegir el tamaño de las páginas, que es como playrec denomina al buffer de almacenamiento.

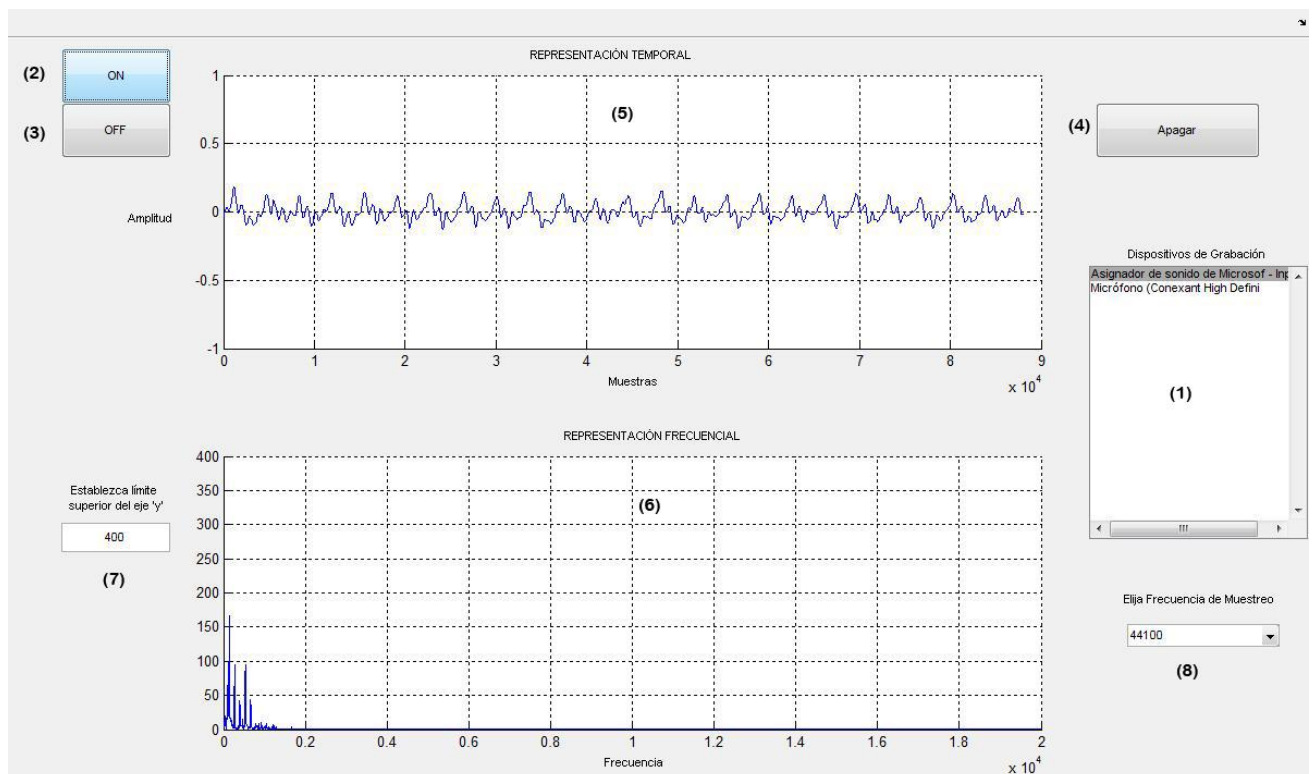


Figura 6.1. Interfaz gráfico del osciloscopio programado con Matlab.

Una utilidad más que se le podría dar a este interfaz es el análisis, en una clase por ejemplo, de diferentes tipos de ondas viendo su forma en tiempo y en frecuencia como pueden ser tonos puros, ondas compuestas, etc. Con simplemente un interfaz gráfico y

sin que sea necesario tener un osciloscopio en formato físico teniendo las mismas posibilidades.

Otra utilidad que se le puede dar, es la de disponer de un osciloscopio (con limitaciones de frecuencia (menores de 22050 Hz de acuerdo al teorema de Nyquist) y de amplitud, ya que este tiene que estar entre -6.5V y 6.5V) con un coste muy bajo, sin necesidad de alimentación y con un uso muy intuitivo, ya que son muy pocos los parámetros necesarios para ponerlo en marcha.

6.3 – Comparación entre ARETO y WINMLS

El fin de este apartado consiste en realizar una comparación entre un sistema profesional como es el software WINMLS junto con la tarjeta de sonido VXPocket con un sistema no profesional desarrollado en la UPNA como es ARETO con la tarjeta de sonido PCM2904.

Lo primero que hay que hacer es definir en que consiste cada sistema de los que se van a comparar posteriormente.

ARETO es un software para medida de parámetros acústicos desarrollado por el laboratorio de Acústica de la UPNA. Este sistema permite elegir la tarjeta de sonido deseada, la señal de excitación, así como guardar la respuesta al impulso (IR) y la grabación realizada entre otras funciones. Para esta comparación se usó en conjunto con la tarjeta de sonido desarrollada en la UPNA que monta el chip PCM2904.

WINMLS es un software basado en tarjetas de sonido de audio de alta calidad, acústica y mediciones de vibración utilizando el ordenador portátil o de sobremesa. Este hecho de que se base en tarjetas de sonido hace posible que se pueda seleccionar entre un gran número de soluciones de hardware.

El proceso de medida (medida de la IR (respuesta al impulso) del laboratorio de acústica) a seguir fue en los dos casos el mismo, salvo el equipo utilizado en cada uno de ellos, siendo el primero con WINMLS y la tarjeta VXPocket y el segundo ARETO con la tarjeta PCM2904.

Para este proceso de medida, exceptuando la tarjeta de sonido, el ordenador y el software, se utilizó el mismo equipo para ambas mediciones (micrófonos, previos, altavoz omnidireccional y etapa de potencia). La conexión se realizó de la siguiente manera (figura 6.2): Se conectó la tarjeta al ordenador, una vez hecho esto, se conecta a las entradas de la tarjeta el equipo de grabación (previo, al que se conectarán los micrófonos), y a las salidas el de emisión (etapa, a la que se conectará después el altavoz omnidireccional). Se realizó una medida binaural, en la que se utiliza un torso artificial, el cual simula las características (difracción, absorción, etc...) del torso humano. Dicho torso incluye 2 micrófonos omnidireccionales, uno en cada oreja.

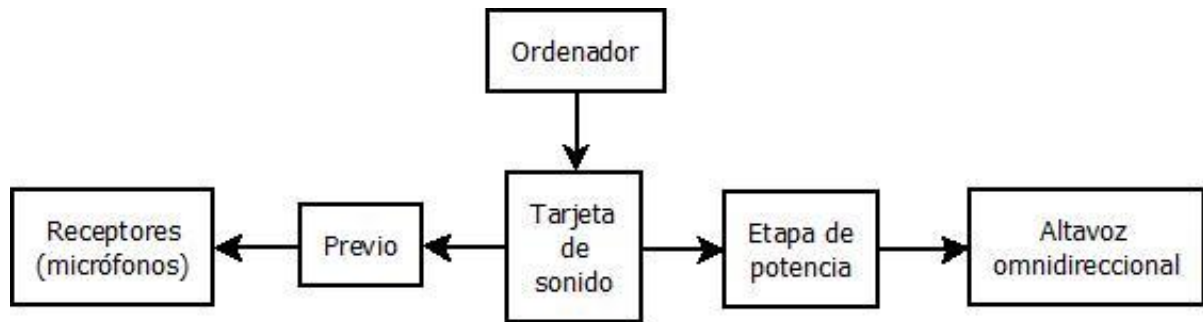


Figura 6.2. Montaje del equipo de medida.

En la siguiente imagen se muestra el modelo de torso artificial que se usó:



Figura 6.3. Torso artificial usado para las medidas binaurales.

A partir de las medidas binaurales se obtuvieron mediante el software WINMLS tanto los parámetros monoaurales (EDT, T30, T20, C50, C80 y D50) como los binaurales (IACCA, IACCE, IACCL).

Todas las medidas serán representadas tanto gráfica como numéricamente.

6.3.1 – Medida binaural.

En este apartado, se van a representar los datos obtenidos de la grabación binaural realizada en el laboratorio de acústica de la UPNA.

Hay que destacar que se van a representar todos los resultados entre 63 y 16000 Hz, ya que el programa WINMLS proporciona los datos para ese rango de frecuencias. Pero en realidad, la ISO 3382 (Medición de parámetros acústicos en recintos), indica que se deben dar resultados entre 125 y 4000 Hz, realizándose el proceso de medida como se ha explicado anteriormente, teniendo como receptor la cabeza artificial, que simula la audición de una cabeza humana.

A continuación se muestra un plano de la situación del equipo y el personal en el momento de la medida:

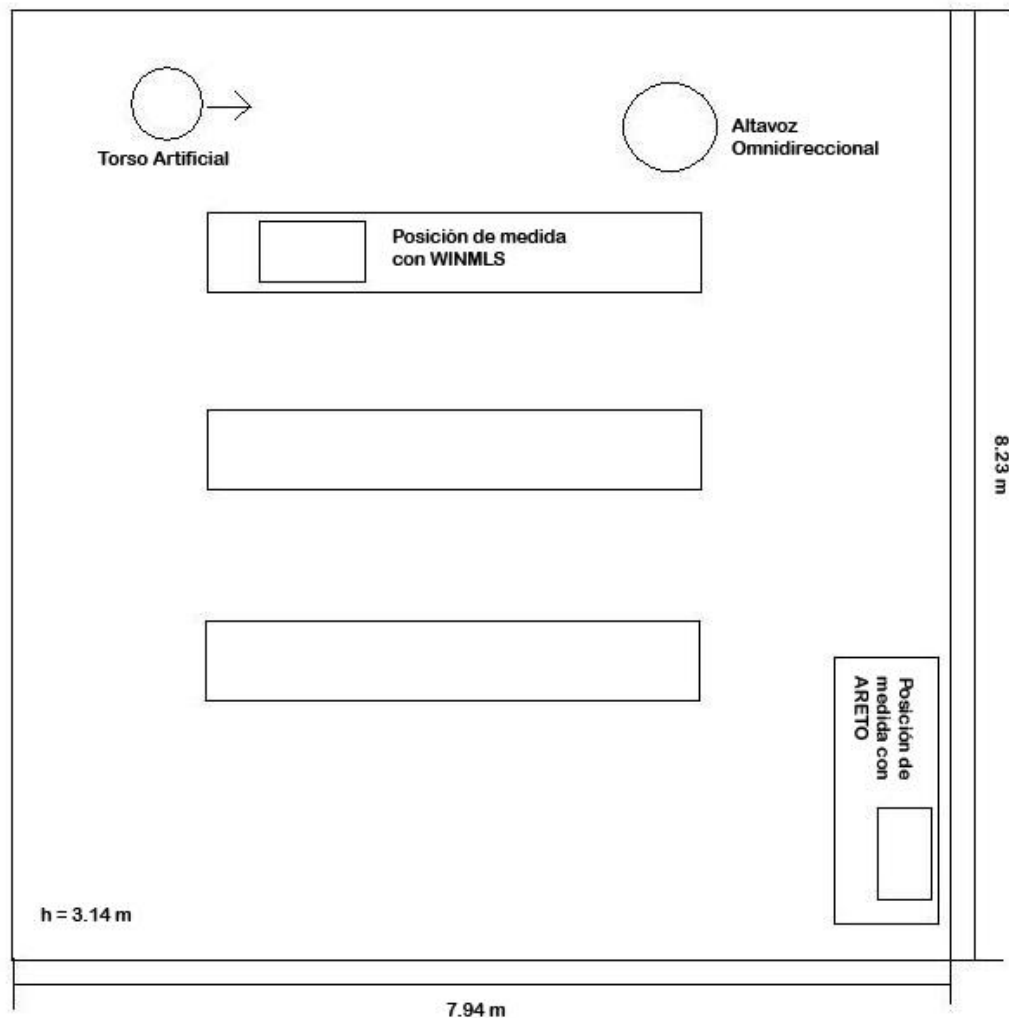


Figura 6.4. Plano de situación en el momento de la medida.

Para el análisis de estas medidas se tuvo en cuenta el parámetro IACCE (Este parámetro se define como correlación cruzada interna y se refiere a la correlación entre los sonidos que llegan a ambos oídos, y es indicativa del grado de similitud existente entre las dos señales), ya que es el más usado en estos casos, integrándose los 80 primeros milisegundos desde la llegada del sonido directo al usarse este parámetro

Las medidas ofrecieron los siguientes resultados:

IACCE BINAURAL									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
ARETO	0,94	0,9	0,7	0,41	0,14	0,15	0,15	0,18	0,19
WINMLS	0,95	0,89	0,72	0,4	0,11	0,15	0,18	0,17	0,21

Tabla 8. Resultados de medición binaural con los dos sistemas de medida

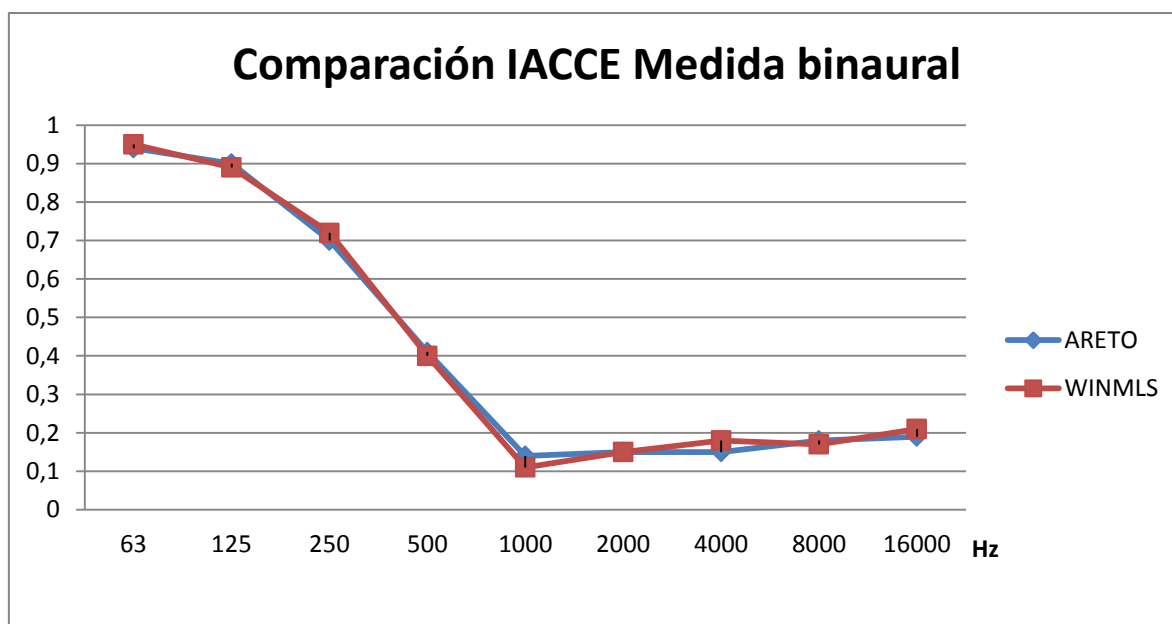


Figura 6.5. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en un grabación binaural.

Observando los resultados de la gráfica se puede ver como, la medida binaural realizada con los dos equipos, es prácticamente igual, lo que quiere decir que, en este caso, el sistema compuesto por ARETO y la tarjeta PCM2904, ha dado unos resultados fiables.

6.3.2 – Parámetros monoaurales.

Estos parámetros monoaurales se han obtenido a partir de respuestas al impulso binaurales utilizando el software WINMLS.

- **EDT (s):** El EDT se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que el foco emisor deja de radiar hasta que el nivel de presión sonora cae 10 dB. Varía en función de la frecuencia.

F[Hz]	EDT (s)								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Oído Izquierdo ARETO	0,92	0,78	0,5	0,86	0,85	0,89	0,82	0,68	0,66
Oído Izquierdo WINMLS	0,92	0,8	0,54	0,88	0,83	0,83	0,84	0,66	0,6
Oído Derecho ARETO	0,93	0,73	0,71	0,92	0,9	0,8	0,84	0,7	0,63
Oído Derecho WINMLS	0,94	0,8	0,7	0,93	0,92	0,87	0,83	0,69	0,64

Tabla 9. Resultados de medición del parámetro EDT con los dos sistemas de medida.

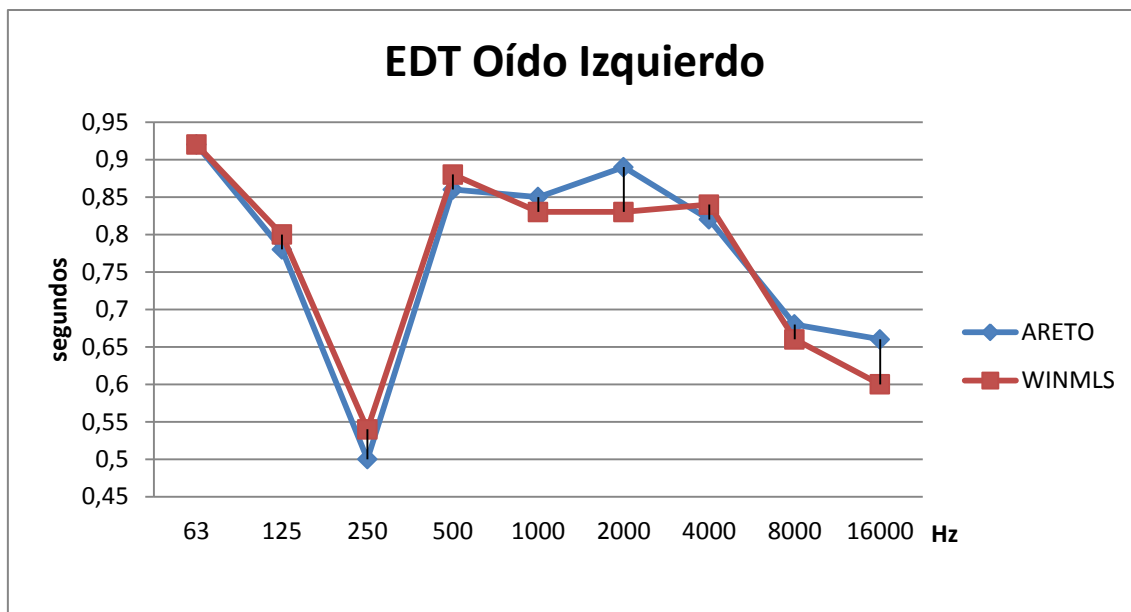


Figura 6.6. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro EDT del oído izquierdo.

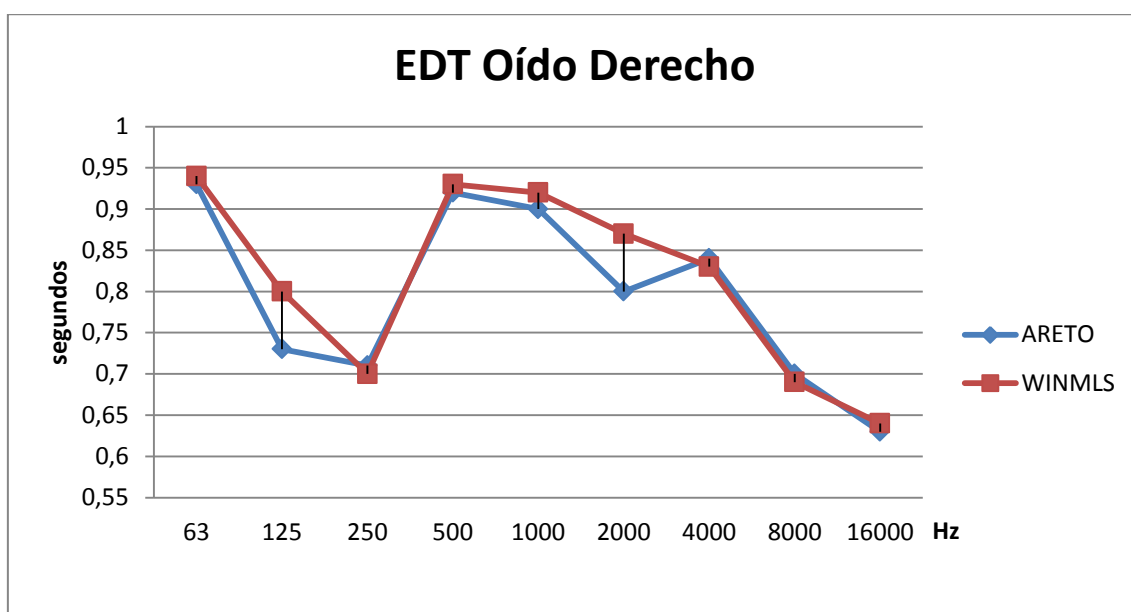


Figura 6.7. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro EDT del oído derecho.

Se observa que los resultados de las gráficas son muy similares en el rango de medida, a excepción de las frecuencias de 125 Hz en el oído derecho y 2kHz en los dos oídos, donde se percibe una pequeña diferencia del tiempo de reverberación, habiendo similitud entre el resto de frecuencias. Ambos parámetros donde se producen las diferencias entran dentro del rango de frecuencias estudiado según la ISO.

- **T(s):** Este parámetro engloba el T20 (Se define T20 cuando T (tiempo) se deriva del tiempo en que la curva de decrecimiento alcanza primero 5 dB y 25 dB por debajo del nivel inicial.) y el T30 (Se define cuando T (tiempo) se deriva del

tiempo en que la curva de decrecimiento alcanza primero 5 dB y 35 dB por debajo del nivel inicial).

	T30 (s)								
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Oído Izquierdo ARETO	0,36	0,57	0,83	0,81	0,85	0,87	0,85	0,72	0,65
Oído Izquierdo WINMLS	0,33	0,86	0,81	0,79	0,88	0,87	0,84	0,72	0,7
Oído Derecho ARETO	0,37	0,44	0,85	0,79	0,81	0,88	0,84	0,73	0,59
Oído Derecho WINMLS	0,35	0,87	0,77	0,77	0,84	0,88	0,85	0,71	0,67

Tabla 10. Resultados de medición del parámetro T30 con los dos sistemas de medida.

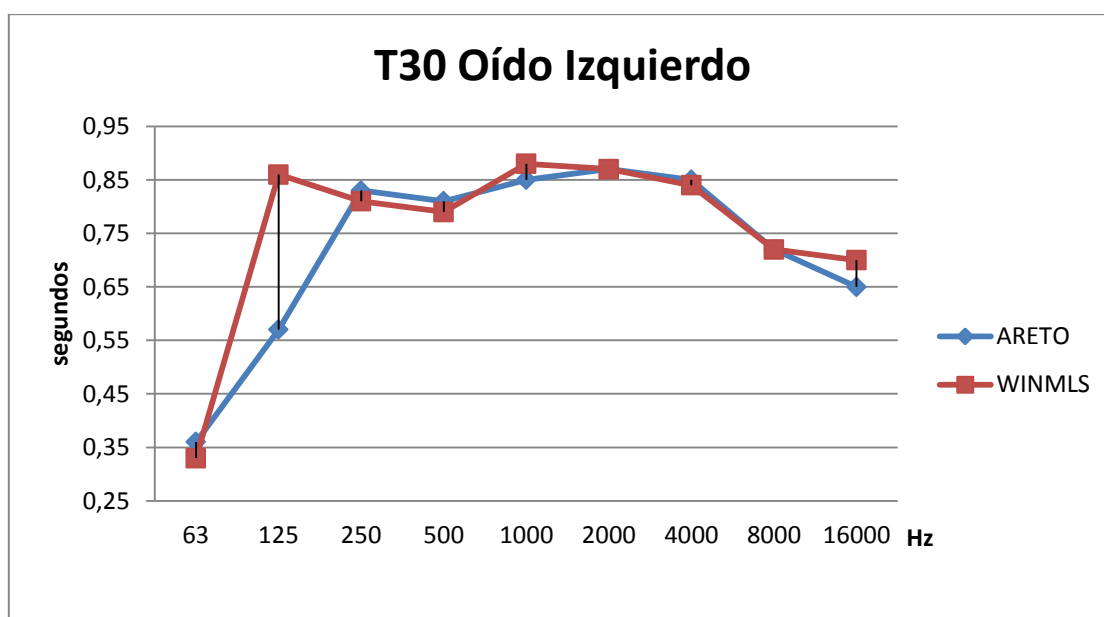


Figura 6.8. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro T30 del oído izquierdo.

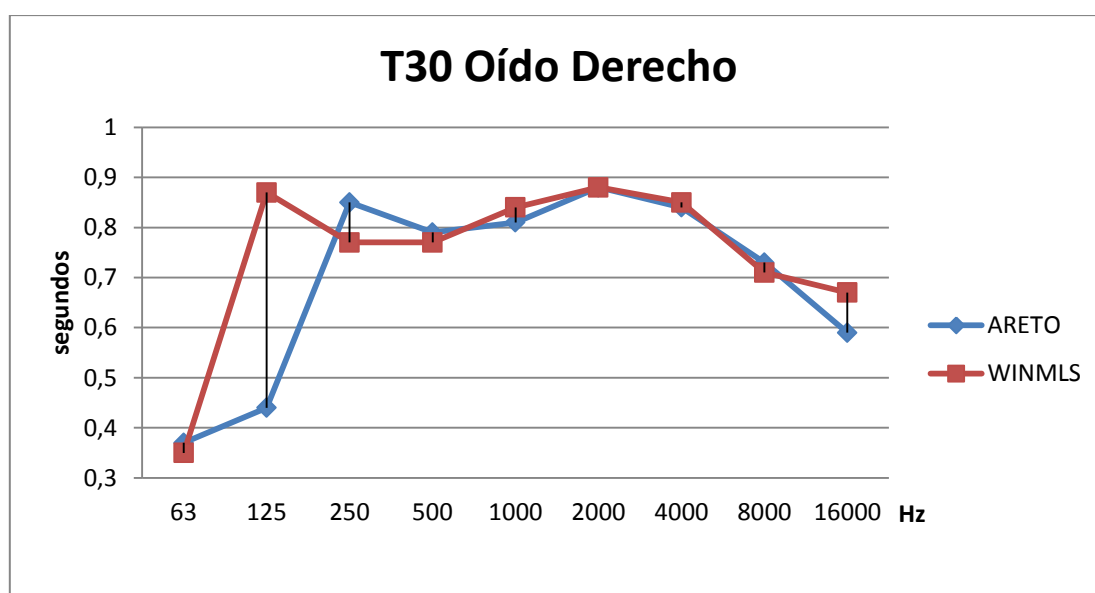


Figura 6.9. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro T30 del oído derecho.

T20 (s)									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Oído Izquierdo ARETO	0,38	0,57	0,76	0,78	0,84	0,87	0,84	0,73	0,65
Oído Izquierdo WINMLS	0,33	0,76	0,79	0,8	0,9	0,88	0,82	0,73	0,68
Oído Derecho ARETO	0,35	0,54	0,71	0,77	0,82	0,89	0,83	0,72	0,59
Oído Derecho WINMLS	0,32	0,74	0,72	0,77	0,85	0,9	0,85	0,7	0,66

Tabla 11. Resultados de medición del parámetro T20 con los dos sistemas de medida.

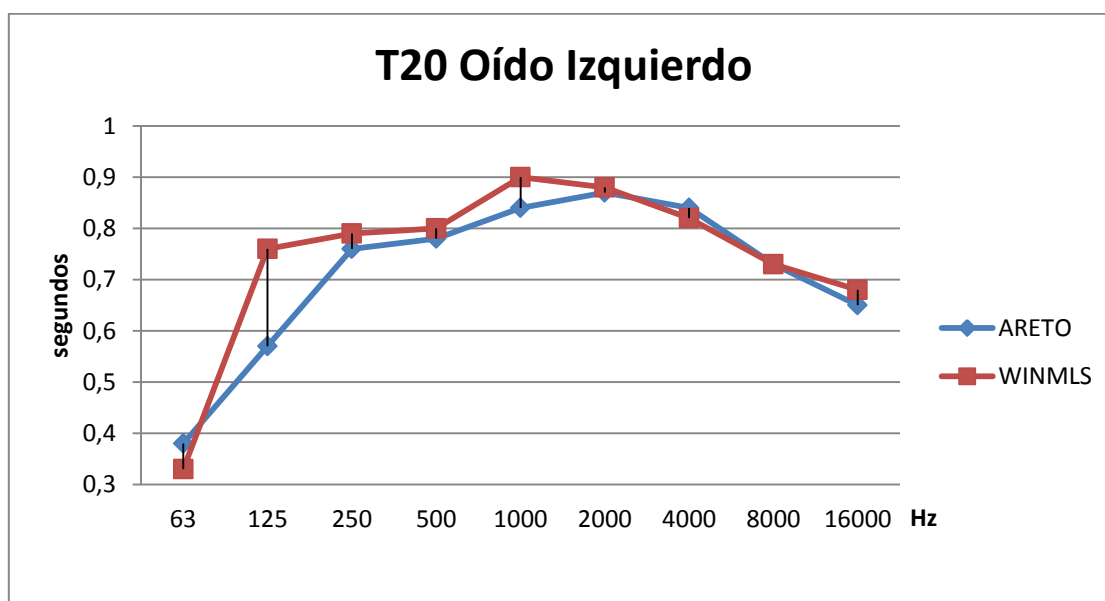


Figura 6.10. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro T20 del oído izquierdo.

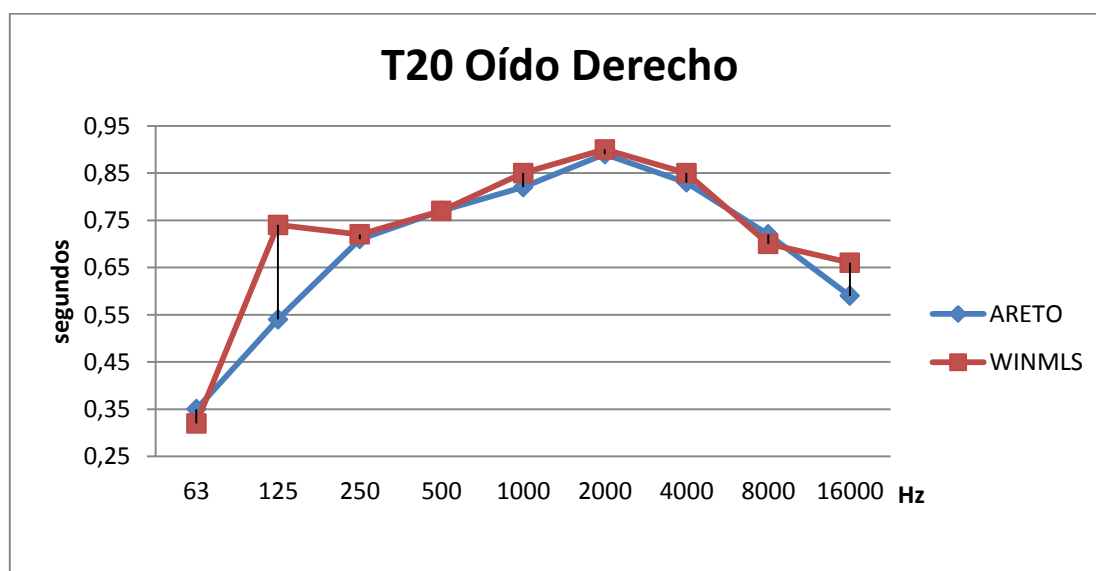


Figura 6.11. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro T20 del oído derecho.

Se observa que los resultados de las gráficas de ambos parámetros son muy similares (ambos parámetros ‘representan lo mismo’ por eso son tan parecidas) en ambos oídos

en el rango de medida, a excepción de la frecuencia de 125 Hz, donde se percibe una gran diferencia del tiempo de reverberación en los dos oídos, siendo mayor esta diferencia en el parámetro T30.

- **Tc (ms):** Se define como el tiempo que separa la misma cantidad de energía antes y después de este instante.

	Tc (ms)								
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Oído Izquierdo ARETO	71	46	45	59	60	61	56	46	59
Oído Izquierdo WINMLS	71	48	46	62	58	60	55	45	41
Oído Derecho ARETO	65	41	51	63	64	62	60	45	57
Oído Derecho WINMLS	65	44	50	65	63	68	59	46	42

Tabla 12. Resultados de medición del parámetro Tc con los dos sistemas de medida.

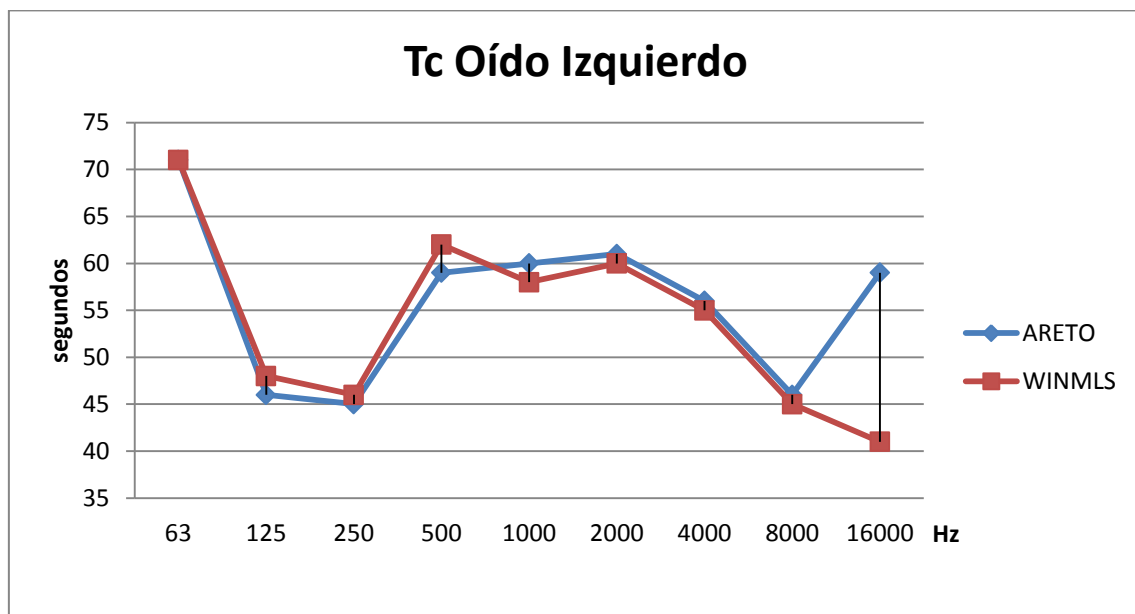


Figura 6.12. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro Tc del oído izquierdo.

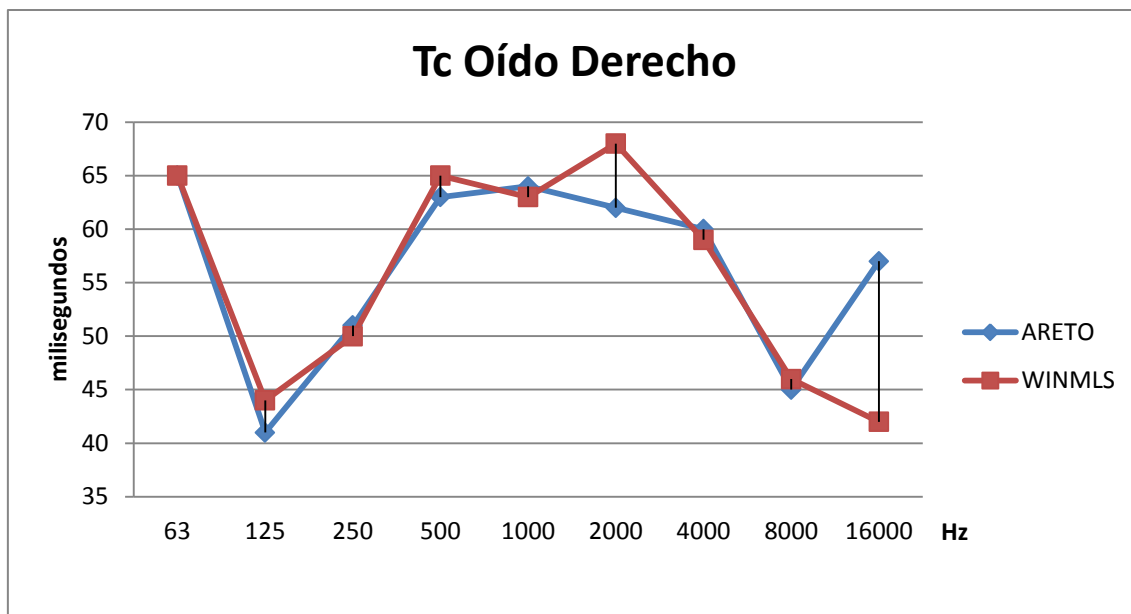


Figura 6.13. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro Tc del oído derecho.

Se observa que los resultados de las gráficas son muy similares en ambos oídos en el rango de medida, a excepción de las frecuencias de 2kHz y 16 kHz (Esta última, en el caso de que se analizara siguiendo la normativa ISO, no se tendría en cuenta, ya que es una frecuencia que no se estudia), donde se percibe una gran diferencia entre los dos sistemas (se observa la mayor diferencia en la gráfica del oído derecho, siendo más similares las señales en el oído izquierdo). Esto puede ser debido teniendo como referencia el parámetro EDT (figuras 6.5 y 6.6) a que, en la medida realizada con ARETO, la curva de caída del tiempo es más rápida que en la medida realizada con WINMLS, lo que se refleja en este parámetro de tal forma que, en la medida realizada con ARETO, ocurre antes el instante en que se da el centro de gravedad de la respuesta impulsiva cuadrática a 2kHz.

- **C50 (dB):** La claridad de la voz C50 se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la que le llega después de los primeros 50 ms.

C50 (dB)									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Oído Izquierdo ARETO	1,1	4,3	5,2	1	1,5	1,8	1,6	3,3	3,1
Oído Izquierdo WINMLS	1,3	4,4	5,3	1	2	1,6	2	3,3	3,8
Oído Derecho ARETO	1,5	5	3,6	0,5	0,7	1,2	1,2	3,4	3,3
Oído Derecho WINMLS	1,7	4,9	3,9	0	0,8	0,2	1,7	2,9	3,5

Tabla 13. Resultados de medición del parámetro C50 con los dos sistemas de medida.

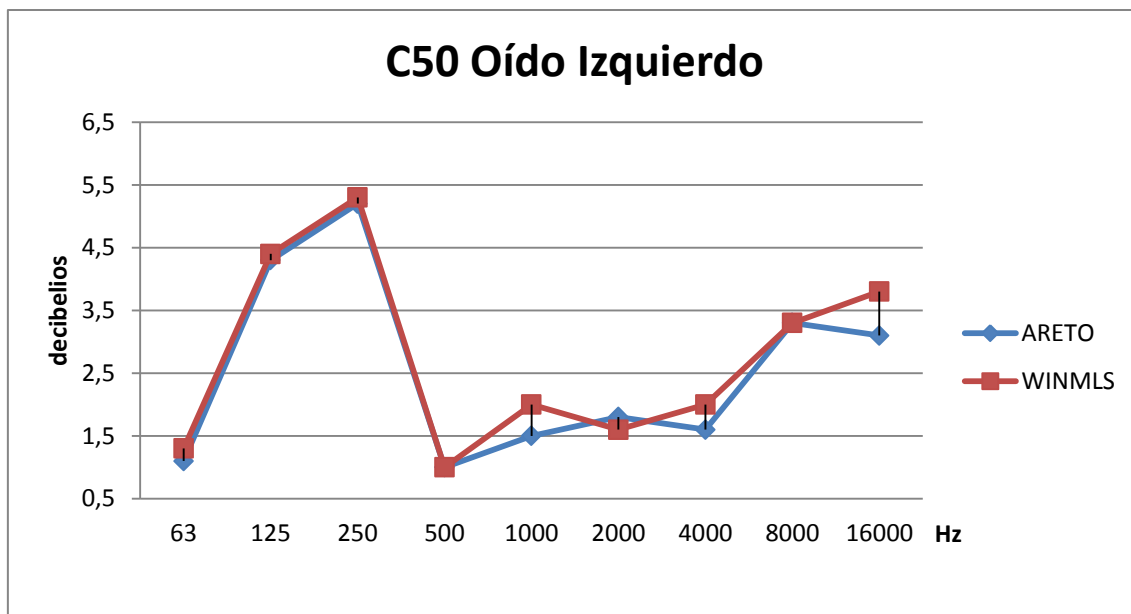


Figura 6.14. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro C50 del oído izquierdo.

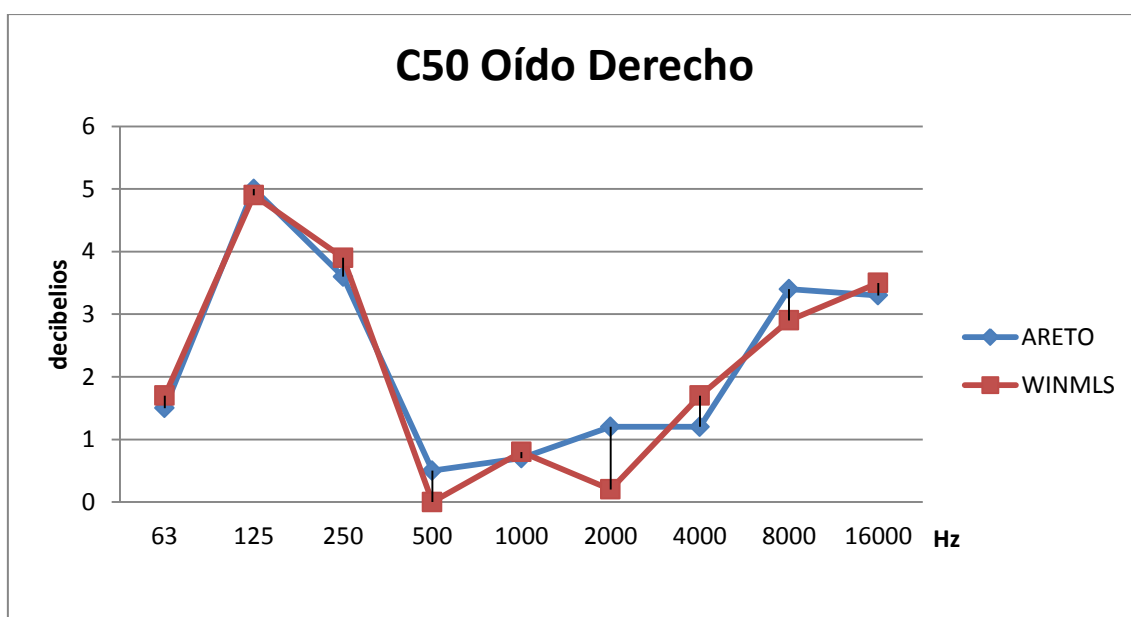


Figura 6.15. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro C50 del oído derecho.

En este parámetro se puede observar cómo hay una mayor variación de la señal en el oído derecho respecto al izquierdo dentro del rango de frecuencias contemplado por la ISO. La mayor diferencia se produce a la frecuencia de 2kHz en el oído derecho, observándose diferencias mucho menores en el resto de frecuencias. Analizando el caso de 2kHz en el oído derecho, por ser donde mayor diferencia se observa, que, en la medida realizada con ARETO, llega un nivel superior de energía al receptor que en la medida realizada con WINMLS.

- **C80 (dB):** La claridad musical C80 indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical.

El C80 se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80 ms.

C80 (dB)									
F[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Oído Izquierdo ARETO	4,3	7,3	8,4	4,4	4,3	4,5	4,8	6,4	6,6
Oído Izquierdo WINMLS	4,2	7,2	8,2	4,3	4,9	4,7	5	6,6	7,5
Oído Derecho ARETO	3,5	7,4	5,4	3,1	3,4	5	4,5	6,4	6,9
Oído Derecho WINMLS	3,4	6,9	6,3	3,1	3,9	3,9	4,9	6,2	6,9

Tabla 14. Resultados de medición del parámetro C80 con los dos sistemas de medida.

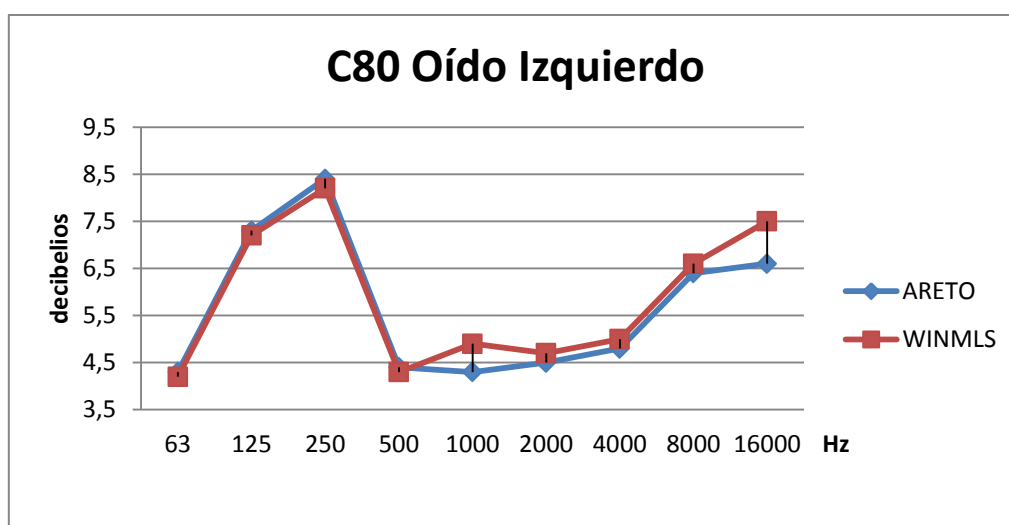


Figura 6.16. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro C80 del oído izquierdo.

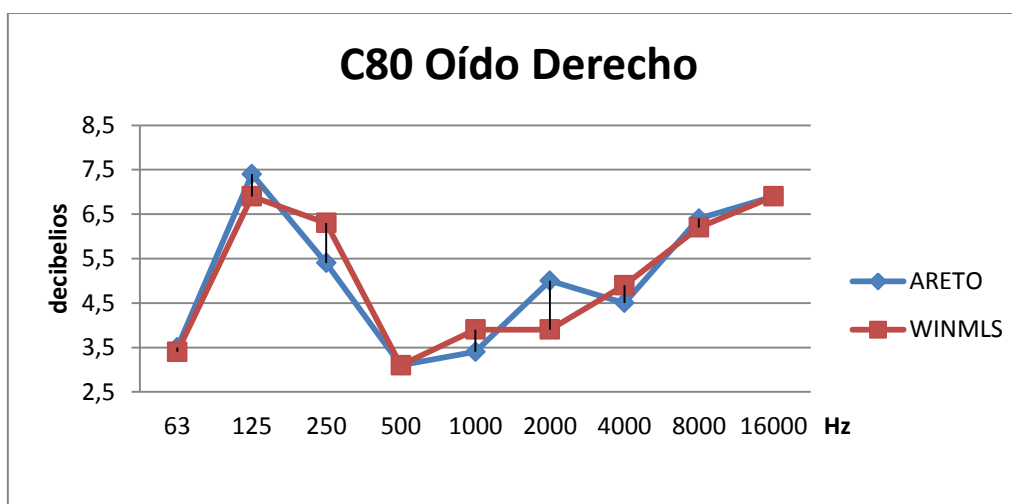


Figura 6.17. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro C80 del oído derecho.

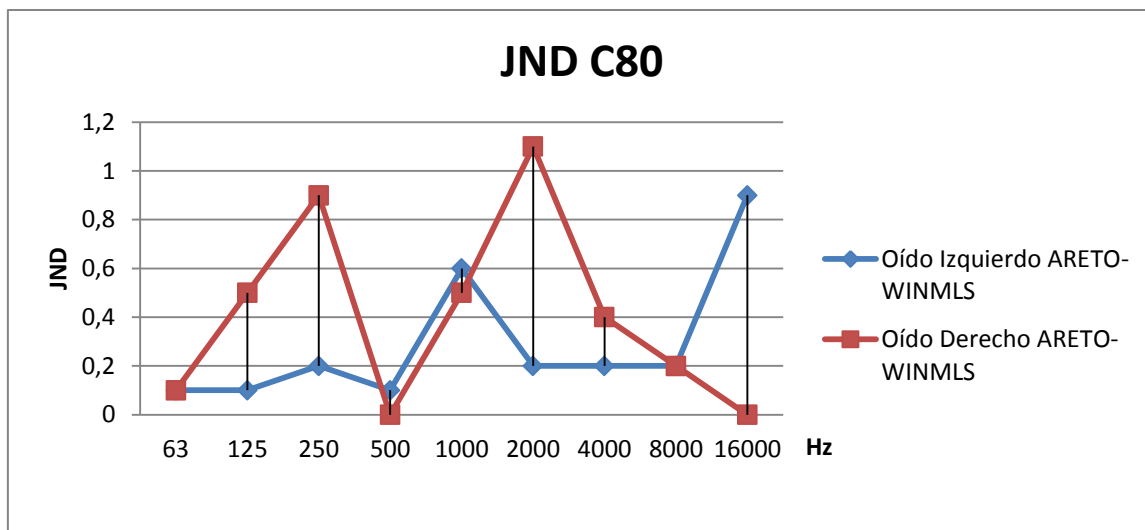


Figura 6.18. Gráfica representando los JND entre los dos sistemas de medida en el parámetro C80.

En cuanto al parámetro C80, y basando el análisis de los resultados en los JND's (parámetro que indica la diferencias mínima perceptible por el oído humano, siendo 1 JND el valor establecido para que un cambio en el parámetro sea perceptible o no, en este caso, 1JND equivale a 1dB), se puede decir que, salvo en la frecuencia de 2 kHz en el oído derecho en ARETO, el resto de valores son similares (acercándose algunos más a 1JND que otros) entre sí, aunque si se compara un oído con otro se observa cómo el oído derecho sufre una variación mucho mayor entre frecuencias que el oído izquierdo (teniendo en cuenta el rango de frecuencias especificado por la ISO), debido a que, los parámetros, son más parecidos en el oído izquierdo que en el derecho.

- **D50 (%):** Es la relación entre la energía que llega al oyente dentro de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la energía total recibida por el mismo.

F[Hz]	D50 (%)								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Oído Izquierdo ARETO	57	73	77	56	59	60	59	68	67
Oído Izquierdo WINMLS	66	73	77	56	61	59	61	68	72
Oído Derecho ARETO	58	75	70	53	54	57	57	68	69
Oído Derecho WINMLS	70	74	71	50	54	51	59	66	69

Tabla 15. Resultados de medición del parámetro D50 con los dos sistemas de medida.

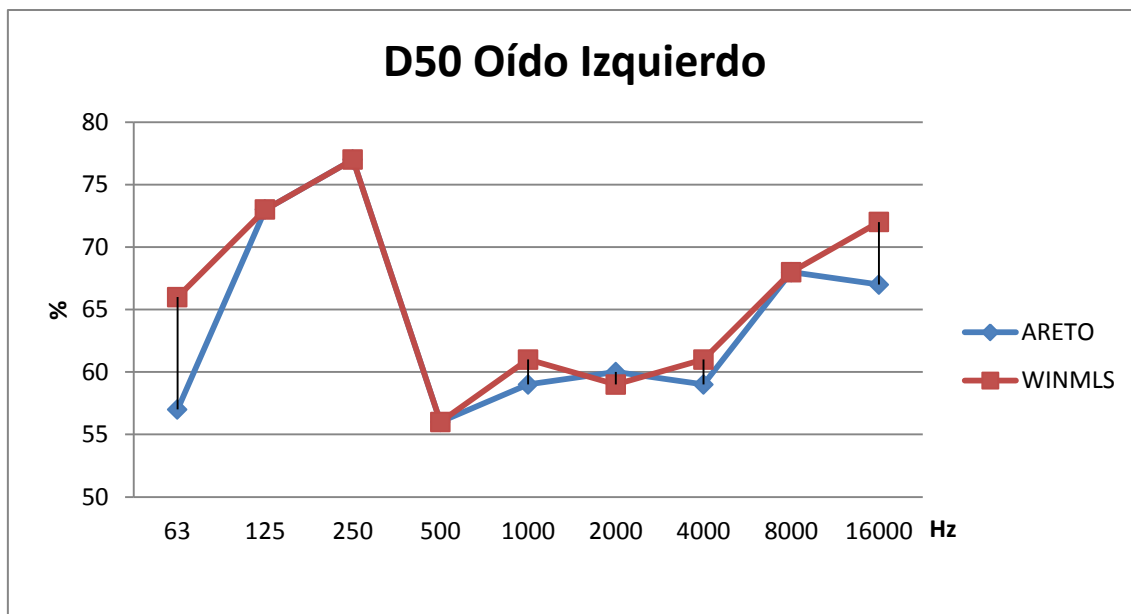


Figura 6.19. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro D50 del oído izquierdo.

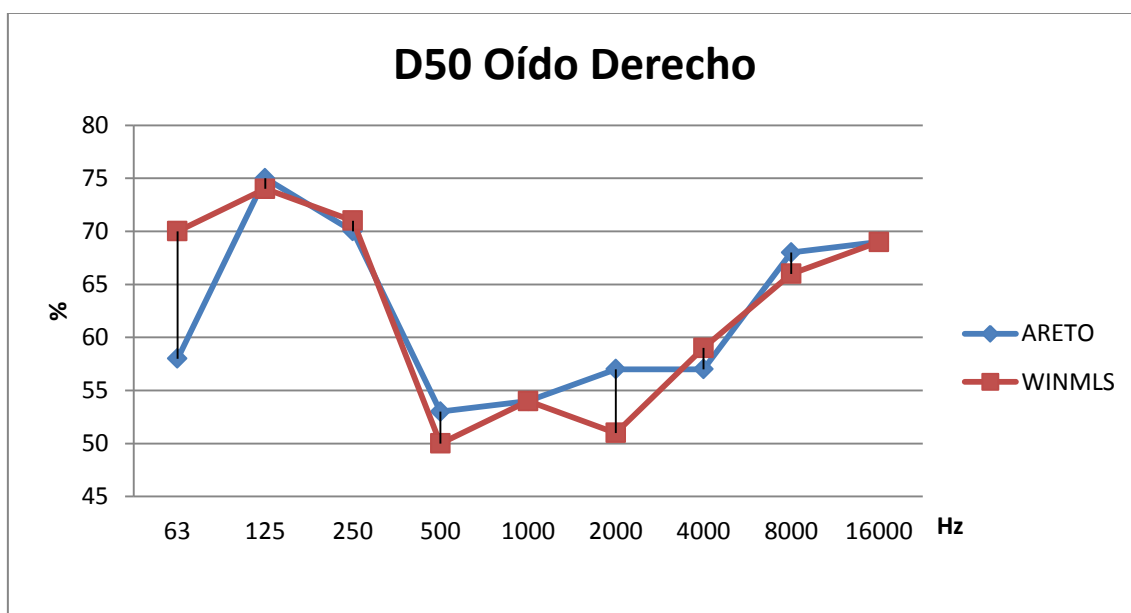


Figura 6.20. Gráfica representando la comparación entre los dos sistemas de medida en el parámetro D50 del oído derecho.

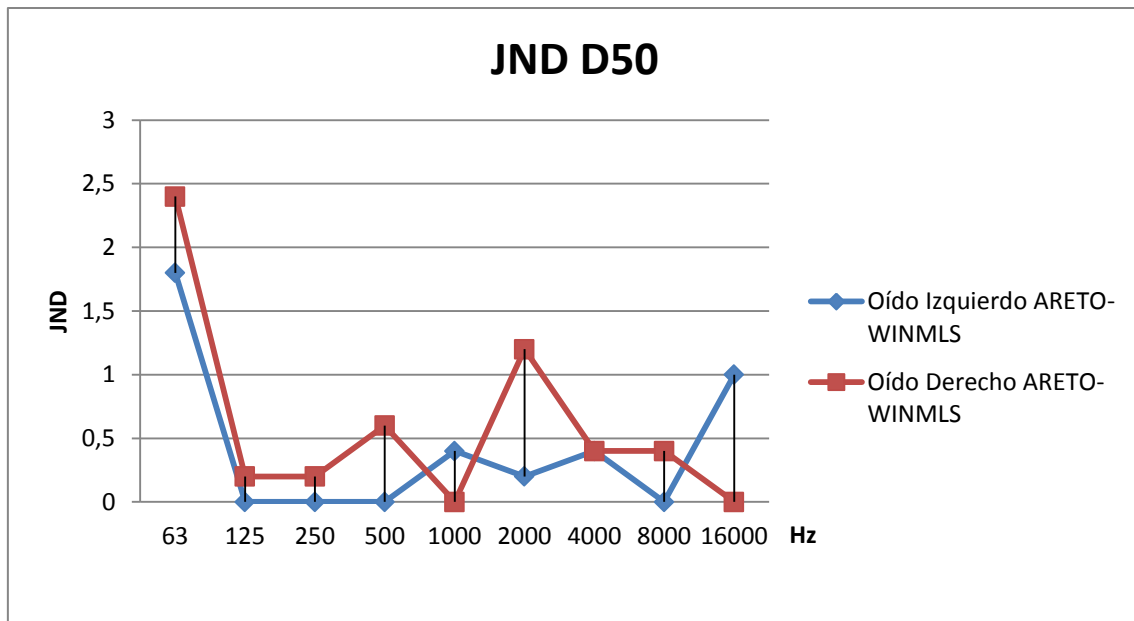


Figura 6.21. Gráfica representando los JND entre los dos sistemas de medida en el parámetro D50.

El análisis de este parámetro se va a hacer teniendo como referencia la gráfica de JND (1 JND equivale a 5%), la cual indica que, el oído izquierdo, tiene menos variación que el oído derecho (teniendo en cuenta del rango de frecuencias contemplado por la ISO, esto es debido a que las señales que llegan a este último son más parecidas entre sí (figura 6.22 y 6.23) que las que llegan al derecho, siendo más perceptible este hecho a bajas frecuencias (entre 125 Hz y 500 Hz).

6.3.3 – Comparación de IR entre ARETO y WINMLS.

En este apartado se va a realizar una comparación en la IR del laboratorio de acústica de la UPNA de dos equipos de medida, uno con el software ARETO y la tarjeta de sonido PCM2904 y otro con el software WINMLS y la tarjeta de sonido VXPocket.

A continuación se pueden observar la representación temporal de las respuestas al impulso del laboratorio de acústica recogida por ambos equipos junto con la ampliación del inicio y final de cada señal.

Se han normalizado las amplitudes a 1 para que las dos señales sean comparables.

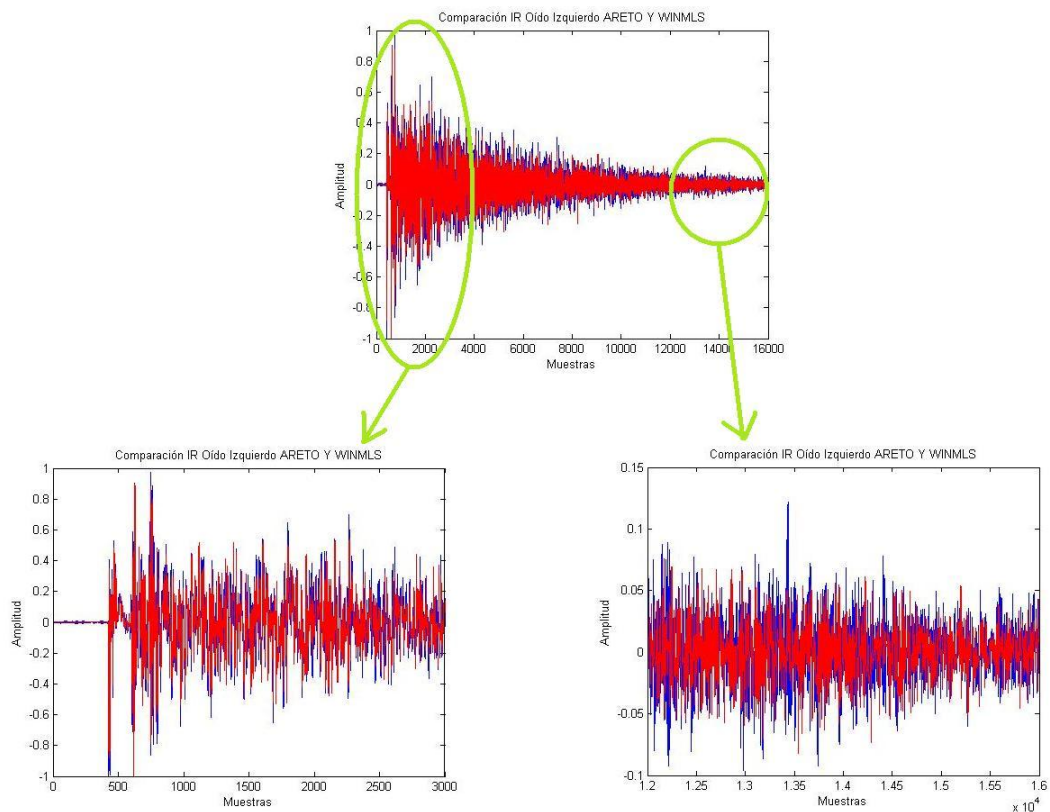


Figura 6.22. Comparación del oído izquierdo de la IR entre ambos equipos de medición y zoom de la señal. Siendo WIMLS la señal en rojo y ARETO la señal en azul.

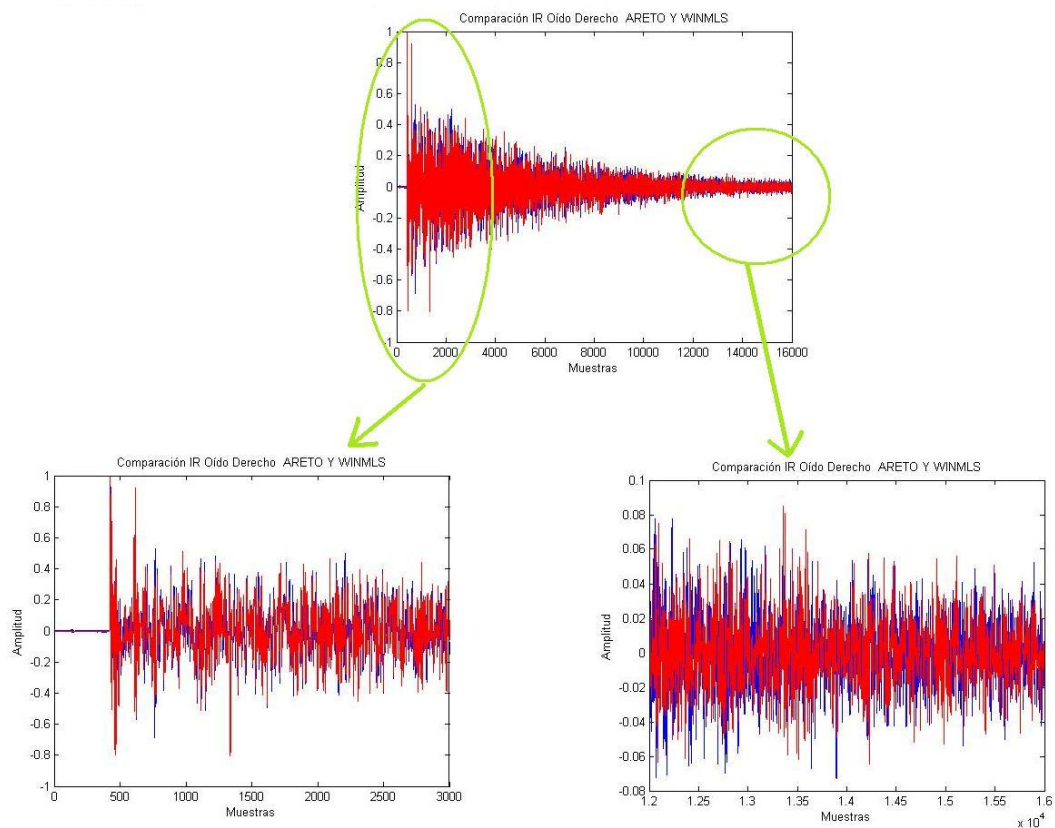


Figura 6.23. Comparación del oído derecho de la IR entre ambos equipos de medición y zoom de la señal. Siendo WIMLS la señal en rojo y ARETO la señal en azul.

Observando las gráficas se puede ver cómo las primeras reflexiones en los dos sistemas son prácticamente iguales (siendo más similares en el oído izquierdo, esto se aprecia con un mayor solape de las señales), coincidiendo incluso las reflexiones de mayor amplitud en los dos equipos. En el principio de la señal del oído derecho (figura 6.22) se ve cómo una señal (roja) es más notable que la otra, hecho que puede ser debido a que la señal ha llegado con menos energía al receptor en el momento de la medida.

Al final de la señal, se puede observar cómo hay más variación entre las señales, debido a que la tarjeta de sonido PCM2904 produce más ruido a altas frecuencias.

La conclusión de que se observen mayores variaciones en el oído derecho se cree que son debidas a que, en el momento de la grabación de cada IR, según qué equipo se estaba usando, las personas que estábamos realizando la medición nos encontrábamos en lugares distintos con respecto a los dispositivos de registro del sonido (figura 6.4).

Con esto se demuestra cómo, en este caso, con un sistema no profesional como es ARETO y la tarjeta PCM2904, se pueden realizar estudios acústicos de IR con resultados muy similares a un sistema profesional como el que aquí se ha tomado como referencia, es decir, el software WINMLS con la tarjeta de sonido VXPocket.

7 – CONCLUSIONES.

Una vez cumplido el objetivo principal del proyecto consistente en la implementación de una tarjeta de sonido hecha en el laboratorio de la UPNA y habiéndola caracterizado y comparado con otras comerciales, así como haber sido usada como instrumentación de medida junto con un software desarrollado en la UPNA para determinar la respuesta al impulso (IR) del laboratorio de acústica, se han sacado las siguientes conclusiones:

- Se ha conseguido una tarjeta de sonido con un presupuesto muy pequeño (alrededor de 15 euros). El inconveniente que presenta es que no es muy fiable, ya que no funciona el 100% de las veces que se conecta. La ventaja es que, cuando funciona, da unos resultados comparables a los de tarjetas de sonido semiprofesionales, las cuales, tienen un precio 5 veces mayor (apartado 4). El problema de fiabilidad mencionado en este punto se cree que es debido al conector USB, que no es el componente pedido al distribuidor y hubo que fabricar un cable de adaptación para que coincidiera cada pin de este con las inserciones de la placa.
- Se ha podido observar en el apartado 6, como con un sistema de procesado de IR como es la conjunción del software ARETO y la tarjeta PCM2904, se obtienen unos resultados, tanto en parámetros monoaurales como binaurales, de medida muy similares a los resultados que se obtienen a partir de un equipo profesional como es el software WINMLS y la tarjeta de sonido VXPocket montada en el ordenador de medida.
- Como conclusión general a la hora de analizar los datos y gráficas tanto de los parámetros monoaurales como binaurales, se puede considerar que se obtienen unos resultados muy fiables al no ser muy distintos de los que da el equipo profesional. Estos márgenes de error se han medido en los parámetros D50 y C80 mediante los JND's siendo 1 el valor de JND máximo. Este análisis se ha hecho sin seguir la normativa ISO (se tienen en cuenta valores de frecuencias que esta normativa no contempla a la hora de analizar los resultados). Si, por el contrario, se tuviera en cuenta la normativa (análisis de los resultados entre 125 Hz y 4000Hz), se puede afirmar, salvo alguna excepción (puede ser debido a la condición de que las personas implicadas en la medida no estábamos en el mismo sitio), que este sistema no profesional obtiene unos resultados muy similares a uno profesional.

Líneas futuras

Este dispositivo es susceptible de varias mejoras como por ejemplo su tamaño, ya que en futuras implementaciones se podría hacer de un tamaño mucho menor así como el conector USB, que en este caso hubo que montar ese por problemas de tiempo y distribución de los materiales, pero que si se montara el que estaba fijado en un principio, posiblemente daría más estabilidad y fiabilidad a la tarjeta.

En lo referente al interfaz del osciloscopio una mejora a hacer es normalizar los valores de los ejes verticales de las gráficas, ya que en el caso de este proyecto son escalas arbitrarias, así como otra mencionada en el punto pertinente que es poner un popup en el

que el usuario elija el tamaño de página que desea (nombre por el que la librería playrec denomina al buffer de almacenamiento).

ANEXO I

Códigos

Aquí se pueden observar los códigos mediante los que se han caracterizado todas las tarjetas. Tanto la definición de cada uno de ellos como el modo en que ha sido utilizado se han explicado anteriormente en el apartado 3.

Todas las señales, una vez grabadas se filtran para obtener el rango de 20 a 20.000 Hz.

SNR (relación señal-ruido).

```
function [ SNR1 ] = SNR2

%Frecuencia de muestreo
fs=44100;
T = 5;

%Grabación de la señal emitida
r = audiorecorder(fs,16,1);
record(r);
pause(T);
stop(r);

%Obtención de la señal grabada
y = getaudiodata(r,'double');

%Frecuencias de corte del filtro paso banda
fs1 = fs/2;

W1 = 40/fs1;
W2 = 20000/fs1;

%Filtrado de la señal grabada para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
Wn = [W1 W2];
[B,A] = butter(4,Wn);
y = filtfilt(B, A, y);
pause

%Grabación del ruido que genera la tarjeta
r1 = audiorecorder(fs,16,1);
record(r1);
pause(T);
stop(r1);

%Obtención de la señal grabada
N = getaudiodata(r1,'double');

%Filtrado de la señal grabada para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
N = filtfilt(B, A, N);
%Representar la señal anterior
figure
n= 1:length(y); n= n/length(y); n = n * fs;
stem (abs(y));
```

```

%Frecuencias de corte de las bandas de octava para analizar la señal
por bandas
frecinf = [ 88 177 354 707 1414 2929 5657 11314];
frecsup = [ 177 354 707 1414 2828 5657 11314 22049];

for i = 1:8;

    fs1 = fs/2;
    W1 = frecinf(i)/fs1;
    W2 = frecsup(i)/fs1;

    Wn = [W1 W2];
    [B,A] = butter(4,Wn);

    y1 = filtfilt(B, A, y);
    N1 = filtfilt(B, A, N);
    y1 = sqrt((1/5)*(sum((y1).^2)));
    N1 = sqrt((1/5)*(sum((N1).^2)));

    %Obtención de las señales en dB
    potenciay1 = 10*log10(y1);
    potenciaN1 = 10*log10(N1);

    %Cálculo de la SNR de la tarjeta
    SNR = potenciay1 - potenciaN1;

    SNR1(i) = SNR;

end
end

```


THD (Distorsión armónica total).

```
function [ THD1 ] = THD
f=1000;

%Amplitud
A=4;

%Frecuencia de muestreo
fs=44100;
T = 5;
L = round(T*fs); %Número de muestras

%Frecuencia normalizada
fn=f/fs;
x = A*sin(2*pi*fn*(0:L-1));
%Representar la señal original
figure
plot(x)

%Grabación de la señal emitida
r = audiorecorder(fs,16,1);
record(r);
pause(5)
stop(r);

%Obtención de la señal grabada
y = getaudiodata(r,'double');
%Frecuencias de corte del filtro paso banda
fs1 = fs/2;

W1 = 40/fs1;
W2 = 20000/fs1;

%Filtrado de la señal grabada para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
Wn = [W1 W2];
[B,A] = butter(4,Wn);
y1 = filtfilt(B, A, y);

%Pasar la señal a frecuencia
y1 = fft(y);

y1 = abs(y1);

y1 = y1.^2;

%Normalizar la señal entre los valores 0 y 1
y1 = y1/max(y1);

%Pasar la señal a dB
y1 = 10*log10(y1);
%Representar la señal anterior
figure
n= 1:length(y1); n= n/length(y1); n = n * fs; %Pasar eje a frecuencia
stem (n,y1);
amp = 0;
```

```

%Mediante este bucle y el posterior cálculo se obtiene el parámetro
THD de la tarjeta
for i = 2:20;
amp1 = y1(find (abs(n-i*1000) == min(abs(n-i*1000))));

amp2 = 10^(amp1/10);

amp = amp2+amp;

end

amp = sqrt((1/5)*(sum((amp).^2)));

THD1 = ((amp)/1^2)^(1/2)*100;

end

```

THD+N (Distorsión armónica relativa).

```
function [ THDN1 ] = THDN
f = 1000;
%Amplitud
A=4;

%Frecuencia de muestreo
fs=44100;
T = 5;
L = round(T*fs); %Número de muestras
%Frecuencia normalizada
fn=f/fs;
x = A*sin(2*pi*fn*(0:L-1));

%Representar la señal original
figure
plot(x)

%Grabación de la señal emitida
r = audiorecorder(fs,16,1);
record(r);
pause (5)
stop(r);
%Obtención de la señal grabada
y = getaudiodata(r,'double');

%Frecuencias de corte del filtro paso banda
fs1 = fs/2;

W1 = 40/fs1;
W2 = 20000/fs1;

%Filtrado de la señal grabada para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
Wn = [W1 W2];
[B,A] = butter(4,Wn);
y1 = filtfilt(B, A, y);

%Grabación del ruido generado por la tarjeta
r1 = audiorecorder(fs,16,1);
record(r1);
pause(T);
stop(r1);

%Obtención de la señal grabada
N = getaudiodata(r1,'double');

%Frecuencias de corte del filtro paso banda
fs1 = fs/2;

W1 = 40/fs1;
W2 = 20000/fs1;

%Filtrado de la señal grabada para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
Wn = [W1 W2];
[B,A] = butter(4,Wn);
N = filtfilt(B, A, N);
```

```

%Pasar la señal a frecuencia
y1 = fft(y);
y1 = abs(y1);

y1 = y1.^2;

%Normalizar las señales entre los valores 0 y 1
N = N/max(y1);

y1 = y1/max(y1);
%Pasar la señal a dB
y1 = 10*log10(y1);
%Representar la señal anterior
figure
n= 1:length(y1); n= n/length(y1); n = n * fs;
stem (n,y1);

amp = 0;

%Mediante este bucle y el posterior cálculo se obtiene el parámetro
THD+N de la tarjeta
for i = 2:20;

amp1 = y1(find (abs(n-i*1000) == min(abs(n-i*1000)))));

amp2 = 10^(amp1/10);
amp = amp2+amp;

end

amp = sqrt((1/5)*(sum((amp).^2)));
N1 = sqrt((1/5)*(sum((N).^2)));

THDN1 = (((amp)+(N1)/1^2)^(1/2))*100;

end

```

IMD (Distorsión de intermodulación).

```
function [ IMD1 ] = IMD

f1 = 250;
f2 = 8000;
%Amplitud
A1=2.5;
A2=1;

%Frecuencia de muestreo
fs=44100;
T = 5;
L = round(T*fs); % Número de muestras

%Frecuencia normalizada
fn1=f1/fs;
fn2=f2/fs;

%Generación de las dos señales sinusoidales
x1 = A1*sin(2*pi*fn1*(0:L-1));
x2 = A2*sin(2*pi*fn2*(0:L-1));

%Suma de las señales generadas anteriormente
x3 = x1 + x2;

%Representar las señales originales
figure
subplot(3,1,1)
plot(x1)
subplot(3,1,2)
plot(x2)
subplot(3,1,3)
plot(x3)

%Grabación de la señal emitida
r = audiorecorder(fs,16,1);
record(r);
pause (5)
stop(r);

%Obtención de la señal grabada
y = getaudiodata(r,'double');

%Frecuencias de corte del filtro paso banda
fs1 = fs/2;

W1 = 40/fs1;
W2 = 20000/fs1;

%Filtrado de la señal grabada para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
Wn = [W1 W2];
[B,A] = butter(4,Wn);
y1 = filtfilt(B, A, y);

%Pasar la señal a frecuencia
y1 = fft(y);
```

```

y1 = abs(y1);

y1 = y1.^2;

%Normalizar la señal entre los valores 0 y 1
y1 = y1/max(y1);
%Pasar la señal a dB
y1 = 10*log10(y1);
%Representar la señal anterior
figure
n= 1:length(y1); n= n/length(y1); n = n * fs;
stem (n,abs(y1));
amp = 0;

%Mediante este bucle y el posterior cálculo se obtiene el parámetro
IMD de la tarjeta
for i = 1:5;

amp1 = y1(find (abs((n-8000)-i*250) == min(abs((n-8000)-i*250))));
amp2 = y1(find (abs((n-8000)+i*250) == min(abs((n-8000)+i*250))));

amp1 = 10^(amp1/10);

amp2 = 10^(amp2/10);

amp = amp1+amp2+amp;

end

IMD1 = (((amp)/1^2)^(1/2))*100;

end

```

Crosstalk (Diafonía).

```
function [ crosstalk1 ] = Crosstalk1( f )

%Amplitud
A=4;
%Frecuencia de muestreo
fs=44100;
T = 5;
L = round(T*fs); %Número de muestras
%Frecuencia normalizada
fn=f/fs;
x = A*sin(2*pi*fn*(0:L-1));
%Representar la señal original
figure
plot(x)

%Grabación estéreo de la señal emitida
r2 = audiorecorder(fs,16,2);
record(r2);
pause (5)
stop(r2);

%Obtención de las señales grabadas en cada canal
senalestereo = getaudiodata(r2,'double');

%Separar la señal estéreo en sus dos canales
left=senalestereo(:,1);
right=senalestereo(:,2);

%Frecuencias de corte del filtro paso banda
fs1 = fs/2;
W1 = 40/fs1;
W2 = 20000/fs1;

%Filtrado de las señales grabadas para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
Wn = [W1 W2];
[B,A] = butter(4,Wn);
left1 = filtfilt(B, A, left);
right1 = filtfilt(B, A, right);

%Obtener la potencia de cada señal
left1 = sqrt((1/5)*(sum((left1).^2)));
right1 = sqrt((1/5)*(sum((right1).^2)));

%Pasar las señales a dB
potenciaright1 = 10*log10(right1);
potencialleft1 = 10*log10(left1);
%Pasar el eje de muestras a frecuencia
n = 1:length(potencialleft1); n = n/length(potencialleft1); n = n * fs;

%Obtener la potencia en las frecuencias que interesan para la diafonía
o crosstalk en cada señal
potenciaright1 = potenciaright1(find (abs(n-f) == min(abs(n-f))));
potencialleft1 = potencialleft1(find (abs(n-f) == min(abs(n-f))));

%Obtención del Crosstalk en cada una de las frecuencias
crosstalkpotencia = potenciaright1 - potencialleft1;
```



```
%Vector de salida con los valores  
crosstalk1 = crosstalkpotencia;  
  
end
```

Respuesta en frecuencia (mediante generación de un sweep).

```
function [ x , y1 ] = sweep(fo,f1,dur)

fs = 44100;

t = 0:1/fs:dur-1/fs;

%Generación del sweep
x = chirp(t,fo,dur,f1,'logarithmic');
spectrogram(x,256,200,256,1000);

%Grabación de la señal emitida
r = audiorecorder(44100,16,1);
record(r);

%Reproducción de la señal generada anteriormente
wavplay(x,fs);

stop(r);
%Obtención de la señal grabada
y = getaudiodata(r,'double');

%Longitud de la señal original
l = length(x);

%Generación de un vector de la misma longitud que la señal original
y1 = zeros(l,1);

%Introducir la señal grabada en el vector creado para que tenga la
misma longitud que la señal original
for i=1:l;
    y1(i) = y(i);
end

%Trasponer la señal
y1 = y1';

%Obtención de la función de transferencia en frecuencia
h = ((fft(y1))./(fft(x)));

%Hacer la fft inversa de la función de transferencia
h = ifft(h);

%Frecuencias de corte del filtro paso banda
fs1 = fs/2;
W1 = 40/fs1;
W2 = 20000/fs1;

%Filtrado de la señal grabada para eliminar frecuencias fuera del
rango que interesa
Wn = [W1 W2];
[B,A] = butter(4,Wn);
h1 = filtfilt(B, A, h);

%Obtener los valores de los ejes en frecuencia en vez de en muestras
n = 1:length(h); n = n/length(h); n = n * fs;
n1 = 1:length(h1); n1 = n1/length(h1); n1 = n1 * fs;
```

```

%Representar las señales anteriores
figure
subplot(2,1,1)
plot(n,abs(fft(h)))
xlim([20 20000])
title('Función de transferencia (H)');

subplot(2,1,2)
plot(n1,abs(fft(h1)))
xlim([20 20000])
title('Función de transferencia filtrada (H1)');

end

```

BIBLIOGRAFÍA

- Buscador de Google.
- ISO 3382- Medición de parámetros acústicos en recintos.
- Bob McCarthy, Sistemas de sonido: Diseño y optimización. Editorial Alvalena, 2009.
- Datasheet del chip PCM2904.
- Antoni Carrión Isbert, Diseño acústico de espacios arquitectónicos (1ra Edición)